験震時報第 77 巻
（2014）241～310 頁

全国 47 火山への火山観測施設の整備

Installation of New Volcano Monitoring Systems for 47 Volcanoes in Japan

気象庁地震火山部火山課

Volcanological Division, Seismological and Volcanological Department, JMA

(Received December 14, 2011: Accepted September 26, 2013)

ABSTRACT: The Japan Meteorological Agency (JMA) has been observing volcanoes through local meteorological offices since before the Second World War. In the 1960s, JMA established modern volcano monitoring systems consisting of high-sensitivity electromagnetic seismometers, which were the most advanced systems in Japan at that time, and the agency began issuing volcanic information. Following this, we continued to strengthen efforts toward the mitigation of volcanic disasters. For example, in 2001, JMA founded Volcano Observations and Information Centers in Sapporo, Sendai, Tokyo, and Fukuoka, and improved the centralized volcano monitoring system, and in 2007, the agency began issuing Volcanic Warnings and Volcanic Forecasts. However, against this backdrop of improvements, it was indicated that it was still necessary to improve the quality of observation data and increase the number of monitored volcanoes.

In 2009, the Coordinating Committee for Prediction of Volcanic Eruptions (CCPVE) evaluated from mid- and long-term viewpoints the possibility of eruptions of all of the volcanoes in Japan. Taking into account both volcanic activity and social factors around the volcanoes, 47 volcanoes were selected for which it was necessary to enhance monitoring systems for volcanic disaster prevention.

Following a CCPVE proposal, the Seismological and Volcanological Department of JMA installed volcano monitoring systems for these 47 volcanoes using the supplementary budget for fiscal 2009. The monitoring instruments installed consisted of seismometers, tiltmeters, infrasonic microphones, GPSs, and monitoring cameras. Most seismometers and tiltmeters were installed at the bottom of 100-meter-deep boreholes in order to reduce noise and obtain high-quality data. This installation of new systems was unprecedented and one of the largest in the more than 100-year history of volcano monitoring by JMA. It has greatly improved the JMA volcano monitoring system by significantly increasing data quantity and improving data quality. In this report, we will provide an outline describing the installation of the systems, details of each monitoring instrument and telemeter system, drilling core collection and analysis, data circulation, and other details. In addition, we will introduce newly obtained data and some of the data analysis results.

1　全国47火山への火山観測施設の整備

1.1　概要*

気象庁は,戦前から気象官署での火山観測に続き,1960年代には,高感度電磁式地震計を主軸とした常時火山観測システムを導入，火山情報の発表を開始するなど，近代的な火山監視体制を確立した．2000年代には，札幌・仙台・東京・福岡に火山監視・情報センターを設置して集中監視体制を強化し，噴火予警報の発表業務を開始するなど，火山災害軽減のための取り組みを強化してきた．そういった中，火山観測データの品質の向上，監視対象火山の拡大といった観測体制のさらなる充実の必要性が指摘されるようになった.

そこで,気象庁地震火山部は,平成21年度補正予算により火山観測施設の整備を行った（予算額:41.2億円）.整備したものは,火山総合観測装置,火山遠望観測装置（火口タイプを含む）ならびに機動観測装置である.

火山総合観測装置は，地震計，傾斜計，空振計，GPS観測装置で，地震計及び傾斜計は，原則として深さ100mの観測井を掘削して埋設することとした.（図1-1）

整備対象の火山は，火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会が今後監視・観測体制の充実等の必要があるとした47火山である（図1-2）．このうちの13火山は，これまで連続監視がなされていなかった火山である.

火山総合観測装置の設置数は，火山毎に1箇所を原則とし，十勝岳，伊豆大島，桜島については3箇所の，計53箇所とした．この3火山は，火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会が近い将来に，避難等の防災対策が必要となる噴火（噴火警戒レベル4以上）の発生が予想されることから，具体的な監視・観測体制を検討する際には考慮する必要があるとした火山である.

火山遠望観測装置は，これまで同装置がなかった17火山に各1台設置するとともに，草津白根山，伊豆大島，霧島山，口永良部島については火口タイプのカメラを各1台設置することとした．ちなみに，これまで30火山に設置されていた火山遠望観測装置は,平成20年度補正予算により更新し,性能の向上等を図った.

これらの機器の設置とともに，データ伝送網についても，可能な限り集約化，IP化を実施し，通信性能の向上と経費の削減に努めた.

機動観測用に購入した機材は，第6章「火山機動観測機器の整備」の表6-1のとおりである.

火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会は，観測データの流通及び共有についても基本的な考え方を報告している．新観測点の設置位置の選定にあたって，気象庁，大学，防災科学技術研究所は協議を行い，新観測点が，既存の観測網と合わせて，監視・観測，調査研究等，各機関の使用目的に合致した観測網を構成し，相互に有効に活用されるものになるように努めた.

机上で概ねの観測点位置を決定した後は，現地調査を行う必要があった．仕様の詳細を決定するためと，土地借用等，各種手続きに必要な情報を収集するためである．手続きは，国立公園法，森林法，温泉法等に基づく煩雑なものになることが予想された.申請等書類の作成は，外注することも考えられた.しかし，落札後に申請等の作業を開始したのでは工事開始が遅れ，年度内の完成がほぼ不可能になること，また，この作業は，仕様の詳細を詰める作業に共通する部分も多いことから職員が事前に実行することとした.

調査の結果，総合観測点設置の適地が必ずしも観測井掘削ができるとは限らず，地震計を地上置きとした地点が53地点中6地点となった.これらの地点は，傾斜計の設置を断念した．旭岳姿見の池（大雪山），上ホロカメットク山（十勝岳）は，山岳地で掘削機材の搬入が困難であった．白山は通信インフラがある等，観測の適地があったが，その地点が地すべり地帯であることが判明した．観測井が破壊されることは確実であった．硫黄岳西麓（薩摩硫黄島），千鳥（硫黄島）は，掘削中に火山ガスの噴出が懸念された．別府湯山（鶴見・伽藍岳）は，温泉法に抵触することが懸念された.

また,総合観測点の適地が必ずしもGPS観測の適地ではない場合があり,この場合はGPS観測点を別に設けることとした．更に，商用電源，公衆通信回線が得られない地点においては，独立電源により，自営無線回線とし，公衆通信回線との中継点を設置しなくてはならなかった.これに,遠望観測装置（火口カメラを含む）を加えると整備地点は，既存観測点,気象官署等も含めて128地点に達した(表1-1).

---

* 佐久間喜代志

火山総合観測装置の外観（乗鞍岳・三本滝）

地震計・傾斜計の埋設時の様子（乗鞍岳・三本滝）

火山遠望観測装置の外観（乗鞍岳・乗鞍高原）

ボアホール

図 1-1　火山総合観測装置・火山遠望観測装置の外観

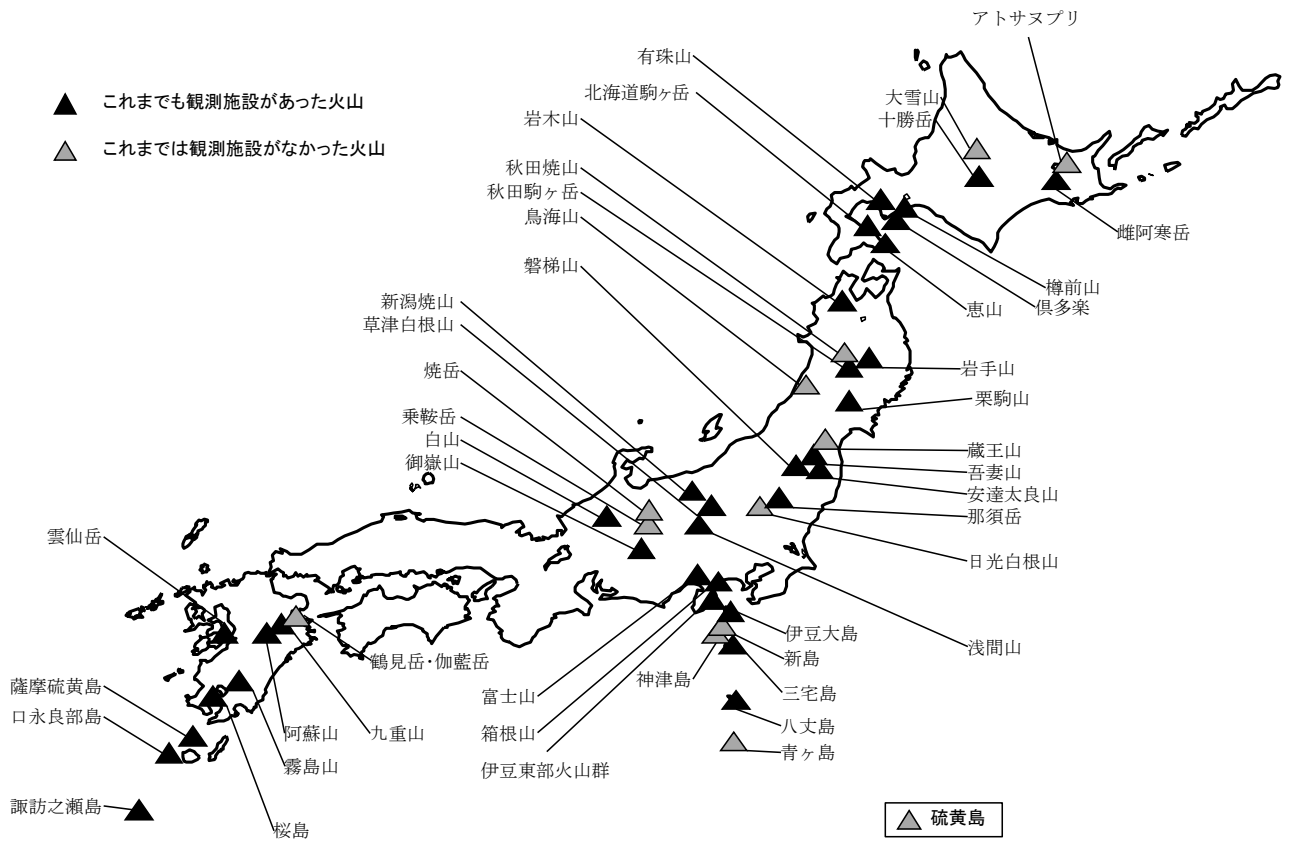



図 1-2　平成 21 年度補正予算により火山観測施設の整備を行った 47 火山

	火 山 名		地点名	種別	手続きの種類（※名称は脚注参照）															
					①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
1	アトサヌプリ	1	跡佐登	総合点（観測井）	○										○					
		2	美留和西	GPS											○					
		3	北東山麓	遠望カメラ											○					
2	雌阿寒岳	4	飽別川上流	総合点（観測井） GPS					○	○		○	○							
		5	上徹別	中継点																
3	大雪山	6	旭岳姿見東	総合点（地上置）	○					○		○			○	○				
		7	旭岳姿見	空振計,送信点	○															○
		8	忠別湖東	遠望カメラ											○					
4	十勝岳	9	望岳台	総合点（観測井） GPS	○							○	○							
		10	翁温泉	総合点（観測井） GPS	○				○	○		○	○							
		11	上ホロ避難小屋	総合点（地上置） GPS	○				○	○		○	○			○				
		12	美瑛町美沢	中継点											○					
5	樽前山	13	南西山麓	総合点（観測井） GPS					○	○		○	○							
		14	石山	中継点																○
6	倶多楽	15	上登別温泉	総合点（観測井）											○					
		16	414m山	遠望カメラ	○				○	○					○					
		17	日和山東	GPS	○				○	○			○							
7	有珠山	18	昭和新山南麓	総合点（観測井）	○										○					
		19	昭和新山北東	GPS											○					
8	北海道駒ケ岳	20	梨の木沢	総合点（観測井）											○					
		21	東円山	GPS											○					
9	恵山	22	柏野	総合点（観測井） GPS											○					
		23	高岱	遠望カメラ											○					
10	岩木山	24	松代白沢	総合点（観測井） GPS											○					
		25	百沢東	遠望カメラ											○					
11	秋田焼山	26	ぶな沢南	総合点（観測井）	○	○	○	○	○	○	○			○	○					○
		27	新玉川温泉	GPS	○										○					
12	岩手山	28	馬返し	総合点（観測井）											○					
		29	盛岡地方気象台	中継点																
		30	柳沢	GPS															○	
13	秋田駒ケ岳	31	八合目駐車場	総合点（観測井）	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○
		32	田沢湖高原温泉	GPS											○					
14	鳥海山	33	観音森	総合点（観測井） GPS											○					
		34	上郷	遠望カメラ															○	
15	栗駒山	35	耕英	総合点（観測井）	○		○								○		○			
		36	大柳	遠望カメラ															○	
16	蔵王山	37	坊平	総合点（観測井） GPS	○								○		○					
		38	遠刈田温泉	遠望カメラ															○	
17	吾妻山	39	浄土平	総合点（観測井）	○		○								○					○
		40	福島地方気象台	中継点																○
		41	幕川温泉	GPS	○								○							
18	安達太良山	42	沼尻山甲	総合点（観測井）											○			○		
		43	岳	GPS																
19	磐梯山	44	裏磐梯高原	総合点（観測井） GPS	○			○							○					
20	那須岳	45	沼ツ原	総合点（観測井） GPS	○				○		○		○							
		46	宇都宮地方気象台	中継点																

	火 山 名		地点名	種別	手続きの種類（※名称は脚注参照）															
					①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
21	日光白根山	47	五色沢	総合点（観測井） GPS	○	○	○		○		○		○					○		
		48	湯元東	中継点	○								○							
		49	歌ヶ浜	遠望カメラ	○								○							
22	草津白根山	50	青葉山西	総合点（観測井） GPS	○		○		○		○		○							
		51	逢ノ峰	中継点	○															
		52	奥山田	遠望カメラ	○				○		○		○							
		53	草津神社	中継点	○				○		○		○							
		54	東工大観測所	受信点																
23	浅間山	55	塩野山	総合点（観測井）		○			○		○		○							
		56	追分	中継点 GPS																
24	新潟焼山	57	カラサワ	総合点（観測井）	○		○		○		○		○							
		58	上早川	中継点																
		59	宇棚	GPS											○					
		60	丸山尻	GPS											○					
25	焼岳	61	中尾	総合点（観測井）											○			○		
		62	大正池南	GPS	○			○					○			○				
		63	栃尾	GPS											○					
26	乗鞍岳	64	三本滝	総合点（観測井） GPS	○		○								○					
		65	乗鞍高原	遠望カメラ	○			○							○					
27	御嶽山	66	田の原	総合点（観測井）	○		○						○							
		67	落合唐谷	GPS	○															
28	白山	68	中飯場	総合点（地上置）	○										○					
		69	白峰	遠望カメラ											○					
29	富士山	70	太郎坊	総合点（観測井） GPS											○					
		71	荻原	遠望カメラ											○					
30	箱根山	72	二ノ平	総合点（観測井）											○					
		73	宮城野	遠望カメラ											○					
		74	仙石原	GPS											○					
31	伊豆東部火山群	75	豬山	総合点（観測井）											○					
		76	新井	GPS											○					
32	伊豆大島	77	北の山	総合点（観測井）			○								○					
		78	泉津伊東無	総合点（観測井）	○		○								○					
		79	二子山北西	総合点（観測井）	○	○	○								○					
		80	北西外輪	遠望カメラ																
		81	中央火口北	火口カメラ	○			○							○					
		82	北西外輪	GPS																
		83	津倍付	GPS																
		84	差木地奥山	GPS																
33	新島	85	瀬戸山南	総合点（観測井）	○	○	○	○							○					
		86	式根	遠望カメラ											○					
		87	若郷	GPS											○					
34	神津島	88	天上山	総合点（観測井）	○	○	○	○							○					
		89	開発センター	中継点 遠望カメラ	○			○							○					
		90	走る間	GPS																
35	三宅島	91	雄山南西	総合点（観測井）	○		○	○							○					
		92	神着	空振計																
		93	村営牧場南	GPS																
36	八丈島	94	西山南東山麓	総合点（観測井）	○		○													
		95	揚梅ヶ原	遠望カメラ																
		96	西山南中腹	GPS	○										○					

	火 山 名		地点名	種別	手続きの種類(※名称は脚注参照)															
					①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯
37	青ケ島	97	松山ヶ平	総合点(観測井)											○					
		98	手取山	遠望カメラ											○					
		99	柑上	GPS											○					
38	硫黄島	100	千鳥	総合点(地上置)																
		101	阿蘇台東	遠望カメラ																
39	鶴見岳・伽藍岳	102	湯山	総合点(地上置) GPS											○					
		103	日ノ出	空振計	○				○		○				○					
		104	石垣	遠望カメラ																
40	九重山	105	星生山山腹	総合点(観測井) GPS	○		○		○	○	○	○	○							
		106	上野	中継点																
41	阿蘇山	107	古坊中	総合点(観測井) GPS	○		○								○					
42	雲仙岳	108	国見岳北山腹	総合点(観測井)					○	○			○							
		109	礫石原甲	中継点																
		110	垂木台地	GPS																
43	霧島山	111	高千穂河原	総合点(観測井) GPS	○		○								○					
		112	豬子石	中継点																
		113	御鉢火口	火口カメラ	○				○	○		○	○							
		114	新燃火口	火口カメラ	○							○	○							
44	桜島	115	瀬戸	総合点(観測井)	○		○								○					
		116	横山	総合点(観測井)											○					
		117	あみだ川	総合点(観測井) GPS	○		○								○					
		118	中継点	中継点	○										○					
		119	八谷沢	GPS	○										○					
		120	瀬ノ神	GPS	○										○					
45	薩摩硫黄島	121	物草	総合点(地上置) GPS											○					
		122	岩ノ上	中継点														○		
46	口永良部島	123	新岳北東山麓	総合点(観測井)	○		○								○			○		
		124	新岳火口北縁	火口カメラ	○										○					
		125	湯向	GPS	○										○					
47	諏訪之瀬島	126	放牧場	総合点(観測井)											○					
		127	榊戸原	空振計											○					
		128	トンガマ	GPS											○					

※ 提出書類の名称

①…工作物新築協議書
②…木材の伐採協議書
③…鉱物掘削等(土石の採取)協議書
④…指定区域内立ち入り許可申請書
⑤…保安林内作業許可申請書
⑥…保安林内作業行為に関する同意書の交付申請書
⑦…保安林内の土地形質変更許可申請書
⑧…入林届
⑨…国有林野使用許可申請書
⑩…ボーリング許可申請
⑪…土地借用(国有林野以外)
⑫…天然記念物の現状変更許可申請書
⑬…温泉法に基づく許可申請
⑭…温泉組合等への手続き
⑮…教育財産の使用許可申請書
⑯…施設借用

1.2　監視・観測体制の充実等が必要な火山の選定および関係機関との事前調整*

1.2.1　監視・観測体制の充実等が必要な火山の選定

我が国には今後も噴火発生の可能性がある活火山が 108 ある（平成 23 年 6 月には新たに 2 火山が追加され，活火山の総数は 110 となった）．気象庁は火山防災の目的でこれらの活火山の監視を担当している．特に，活発な活動を繰り返す等，連続監視が必要となる火山では，昭和 37 年（1962 年）以降，火山体近傍に地震計等を設置して常時観測を行ってきた．近年では多地点多項目観測を実現させるとともに，機動観測点の運用により連続監視火山を増やすほか，広域地震観測網の活用等も含め，火山監視体制の強化に努めてきた．一方，このような監視・観測体制の強化とともに，平成 19 年 12 月には気象業務法の改正・施行に伴い，噴火予報・噴火警報の運用を開始した．

今後の火山防災対策のさらなる充実を図るため，火山噴火予知連絡会（会長：藤井敏嗣東京大学名誉教授）は平成 18 年 11 月に火山活動評価検討会（座長：石原和弘京都大学教授（当時））を設置して，全国の活火山のうち，無人島，海底火山，北方四島を除く 81 活火山（現在 83 活火山）を対象に中長期的な噴火の可能性について評価を行い，監視・観測体制の充実等が必要な火山を選定することとした．約 2 年間の検討作業の結果，今後概ね 100 年以内に噴火が発生する可能性が高いと考えられる，または，噴火発生の可能性は不明だが小規模であっても突発的に噴火が発生した場合の社会的影響が大きいと考えられる 47 火山を，監視・観測体制の充実等の必要がある火山として選定した（表 1）．選定結果は火山噴火予知連絡会に報告・承認された後，平成 21 年 6 月に「中長期的な噴火の可能性の評価についてー監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定ー」として気象庁から公表された．

この検討結果を受け，気象庁は選定された 47 火山の噴火予報・噴火警報の精度向上を目指して，高品位多項目観測を実現するための火山観測施設（孔井型地震計傾斜計，空振計，GPS，遠望カメラ）の整備を平成 21 年度補正予算により実施することとした．特に，近い将来に避難等の防災対策が必要となる噴火（噴火警戒レベル 4 以上）の発生が予想される十勝岳，伊豆大島，桜島の 3 火山については，噴火予測の精度向上を目指す必要があると判断して，特にマグマ移動を検知する上で有効な孔井型地震計傾斜計を複数箇所に設置することとした．

1.2.2　関係機関との事前調整

大学等研究機関は火山噴火予知研究計画に基づき，噴火予知研究の目的で活動的火山において長年にわたり研究観測体制を継続してきた．特に，気象庁による監視・観測体制が不十分な火山においては，大学等研究機関の協力を得て，分岐データを連続監視に活用してきた．しかし，国立大学の法人化等に伴い，従来の観測研究体制を変更せざるを得ない状況が生じつつあり，国立大学からの分岐データの監視への活用について再検討が必要となっていた．

火山噴火予知連絡会は平成20年2月に火山観測体制等に関する検討会（座長：清水洋九州大学教授）を設置して，我が国の火山災害軽減に向けた調査研究の一層の推進とその成果を活用した観測体制の強化等を進めるため，今後の観測体制やデータ流通体制のあり方について検討を行ってきた．その結果，基本的な考え方として，関係機関はそれぞれの役割を踏まえながらこれまで以上に連携し，観測データの流通・共有を推進し，火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会が選定した 47 火山を対象に火山観測体制の充実を図るべきであるとの結論が取りまとめられた．

今回の観測施設整備にあたっては，上記の検討結果を踏まえ，気象庁および関係機関による既設観測点の統廃合や観測機器が不足している火山への再配置を行う等，観測資源を有効活用しながら，全体として監視・観測体制が改善充実され，個々の火山での監視能力が向上するような火山観測網の構築を目指すこととした．

整備計画の検討段階（平成 22 年 4 月～5 月）においては，表 2 に示す関係機関と連携して，各火山の地形地質や社会基盤，作業環境等の把握，監視すべき火山現象の想定等を確認しながら，観測点候補地について具体的な検討を行った．各火山の現場事情に詳しい地元の大学等研究機関の担当者からの助言はきわめて的確であった．短時間のうちに火山観測網のグランドデザインを構築する上で，関係機関との事前調整は極めて効果的であった．

* 宮村淳一（現：札幌管区気象台）

また，大学の火山観測研究を支援するための防災科学技術研究所による新規整備が同時期に行われることになり，全国 5 火山（有珠山，岩手山，浅間山，阿蘇山，霧島山）で合計 8 カ所に高精度高品位観測施設が設置される計画となっていた．そこで，防災科学技術研究所の担当者とも十分に情報共有を図りながら，設置候補地の選定作業を進めた．

今回の整備計画には GPS 観測施設の整備も含まれていたが，GPS 観測点は原則として各火山 1 点の整備としていたため，既設観測点との組合せで基線解析を行う必要があった．気象庁では，全国に GPS 観測網を展開している国土地理院と GPS データ交換に関する協定を結び，平成 21 年度から 22 火山を対象に統合解析システムによる定常解析の運用を開始していた．そこで，国土地理院の担当者から今後の GPS 観測点配置計画等の情報提供をお願いし，得られた情報を参考にしながら各火山の GPS 観測点の設置候補地や統廃合についての検討を進めた．

表 1　火山噴火予知連絡会により監視・観測体制の充実等の必要があるとして選定された 47 火山
太字下線は平成 22 年 4 月時点で気象庁が連続監視を行っていた火山

選定理由	火山名
①近年，噴火活動を繰り返している火山	**雌阿寒岳**，**十勝岳**，**樽前山**，**有珠山**，**北海道駒ケ岳**，秋田焼山，**秋田駒ケ岳**，**吾妻山**，**那須岳**，**草津白根山**，**浅間山**，**新潟焼山**，焼岳，**御嶽山**，**伊豆大島**，**三宅島**，硫黄島，**阿蘇山**，**霧島山**，**桜島**，**薩摩硫黄島**，**口永良部島**，**諏訪之瀬島**　（計 23 火山）
②過去 100 年程度以内に火山活動の高まりが認められている火山	アトサヌプリ，大雪山，**恵山**，**岩手山**，**栗駒山**，蔵王山，**安達太良山**，**磐梯山**，日光白根山，乗鞍岳，**白山**，**箱根山**，**伊豆東部火山群**，新島，神津島，**八丈島**，鶴見岳・伽藍岳，**九重山**　（計 18 火山）
③現在異常はみられていないが過去の噴火履歴等からみて噴火の可能性が考えられる火山	鳥海山，**富士山**，**雲仙岳**　（計 3 火山）
④予測困難な突発的な小噴火の発生時に火口付近で被害が生じる可能性が考えられる火山	**倶多楽**，**岩木山**，青ヶ島　（計 3 火山）

表 2　整備計画の検討段階で事前調整を行った関係機関

機関名	火山名
国土地理院	全火山
北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター	アトサヌプリ，雌阿寒岳，大雪山，十勝岳，樽前山，倶多楽，有珠山，北海道駒ケ岳，恵山
弘前大学理工学部附属地震火山観測所	岩木山
東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター	秋田焼山，岩手山，秋田駒ケ岳，栗駒山，鳥海山，蔵王山，吾妻山，安達太良山，磐梯山
東京大学地震研究所	浅間山，富士山，伊豆東部火山群，伊豆大島，新島，神津島，三宅島，八丈島，青ヶ島，霧島山
東京工業大学火山流体研究センター草津白根火山観測所	草津白根山
名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター	焼岳，乗鞍岳，御嶽山，新島，神津島，八丈島
京都大学防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所	焼岳
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター	阿蘇山，九重山，鶴見岳・伽藍岳
九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター	雲仙岳
京都大学防災研究所附属火山活動研究センター	桜島，薩摩硫黄島，口永良部島，諏訪之瀬島
防災科学技術研究所	有珠山，岩手山，那須岳，浅間山，富士山，伊豆大島，三宅島，硫黄島，阿蘇山，霧島山
神奈川県温泉地学研究所	箱根山

2 火山総合観測装置*

2.1 概要

火山総合観測装置は，地震計・傾斜計・空振計及びテレメータ送量装置を基本構成として，IP-VPN（Earth-LAN）経由で，観測データを気象庁の各火山監視・情報センター等に配信する装置である．本装置は対象47火山のうち硫黄島を除く46火山の52地点に整備した（表 2-1）．

本装置は，設置地点の条件により，設置形態，伝送経路，供給電源が異なった構成となっている．また，火山体で発生する微小な震動や地殻変動（傾斜変化）を捉えるため，埋設型センサーを地下 100m に設置することを基本仕様とした（47 地点）．ただし，地理的・地形的条件により，掘削ができない地点については地上型地震計を設置した（5地点）．

観測データについては，地震計及び空振計は 100Hz, 傾斜計は 1Hz サンプリングを行い，24bit（一部の空振計は 16bit）A/D 変換して WIN フォーマット化している．データ伝送はデジタル回線によるネットワーク接続の体制を構築し，IP による通信で行っている．デジタル回線が利用できない地点や，有線回線が引けない地点については，アナログ回線，光回線（整備局），無線通信によりデジタル回線が利用できる地点まで中継して，データ伝送した．

本装置は，データ伝送系統の違いにより，次の 5 つの型に分けることができる（図 2-1）．①デジタル送信型（24 地点），②アナログ中継型（6 地点），③光回線中継型（3 地点），④無線中継型（18 地点），⑤無線送信・アナログ中継型（1 地点）．①の地点については観測局装置だけを設置したが，②～⑤の地点についてはそれぞれ中継局装置を設置した．また，電源部についても，商用電源が確保できない地点については，太陽電池電源装置を設置した．

なお，本装置の整備にあたっては，地中部と地上部の 2 つの仕様書及び契約に分かれ，2 つの請負業者（応用地質株式会社及び明星電気株式会社）が分担及び協力をして作業を実施した．

2.2 観測井掘削

埋設型センサーを設置する地点においては，観測井の掘削を行った．掘削にあたっては，埋設型センサーの設置深度の決定およびコア解析（第 7 章，ボアホール型火山観測施設整備時のボーリングコアの採取及び解析参照）に資するために，地下 100mのオールコアボーリングを採取率 100%を目標に実施した（調査孔掘削）．なお，事前に地質を検討した結果，掘削深度を焼岳は 150m，八丈島は 50mとした．

コア採取後は，温度検層，電気検層，PS 検層の各物理検層を実施した．コア写真，ボーリング柱状図及び検層結果をもとに，センサーの設置深度を検討した．設置深度については，該当火山を管轄する火山監視・情報センターと気象庁火山課が TV 会議を利用して検討会を開き，協議の上で決定した．設置深度は，100m付近で地震計設置に適した層がある場

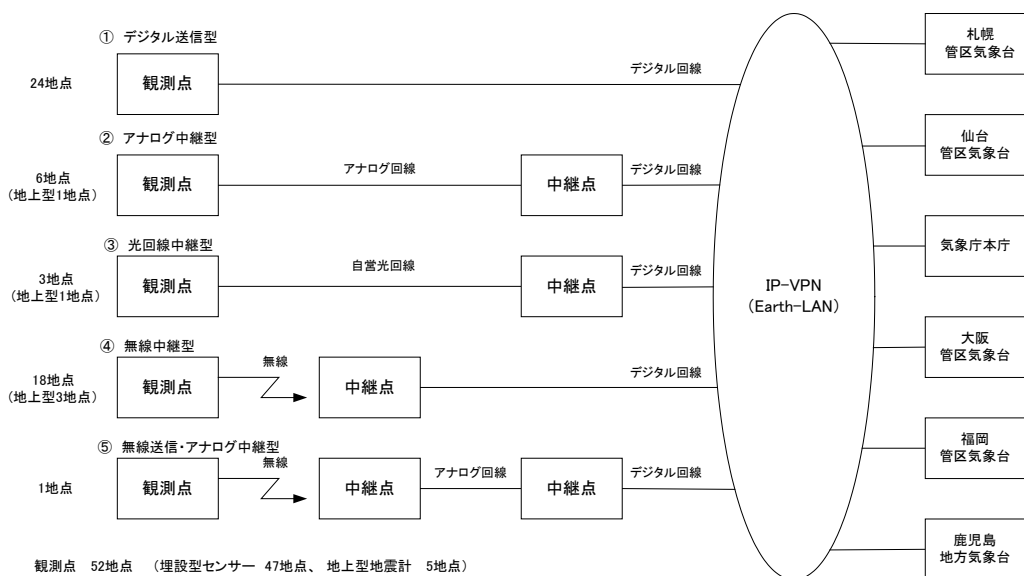



図 2-1　データ伝送系統図

* 本多誠一郎（現：地震火山部管理課），晴山 智，上田義浩（現：大阪管区気象台），小久保一哉（現：総務部情報利用推進課）

表 2-1 火山総合観測装置観測点別一覧

観測点 No.	火山別 No.	火山名	観測点：観測点名	観測点：孔底深度 GL- m	観測点：速度型地震計	観測点：傾斜計	観測点：地中温度計	観測点：地上型地震計	観測点：空振計	観測点：電源	伝送回線 観測点等～中継点 or 観測点等～各ｾﾝﾀｰ（右欄がー）	中継点：中継点名	中継点：空振計	中継点：電源	伝送回線 中継点等～各ｾﾝﾀｰ or 中継点～中継点２（下段の点）
1	1	アトサヌプリ	跡佐登	156.4	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
2	2	雌阿寒岳	飽別川上流	100.0	○	○	○		○	S	無線	上撤別		A	デジタル
3	3	大雪山	旭岳姿見東	－				○			ケーブル	姿見	○	A	無線
			（中継点 2）	－	－	－	－	－	－	－	無線	忠別ダム		A	デジタル
4	4-1	十勝岳	望岳台	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
5	4-2		翁温泉	100.0	○	○	○		○	S	無線	美瑛町美沢		A	デジタル
6	4-3		上ホロ避難小屋	－				○	○	S	無線	美瑛町美沢		A	デジタル
7	5	樽前山	南西山麓	100.0	○	○	○		○	S	無線	白老消防署		A	デジタル
8	6	倶多楽	上登別温泉	101.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
9	7	有珠山	昭和新山南麓	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
10	8	北海道駒ケ岳	梨の木沢	102.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
11	9	恵山	柏野	101.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
12	10	岩木山	松代町白沢	100.0	○	○	○		○	A	アナログ	青森地方気象台		A	デジタル
13	11	秋田焼山	ぶな沢	103.0	○	○	○		○	A	光	秋田駒ヶ岳山系砂防出張所		A	デジタル
14	12	岩手山	馬返し	90.4	○	○	○		○	A	無線	盛岡地方気象台		A	デジタル
15	13	秋田駒ケ岳	八合目駐車場	102.0	○	○	○		○	A	光	秋田駒ヶ岳山系砂防出張所		A	デジタル
16	14	鳥海山	観音森	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
17	15	栗駒山	沼倉耕英	99.4	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
18	16	蔵王山	坊平	102.2	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
19	17	吾妻山	浄土平	100.0	○	○	○		○	S	無線	飯坂		A	デジタル
20	18	安達太良山	沼尻山甲	101.0	○	○	○		○	A	アナログ	福島地方気象台		A	デジタル
21	19	磐梯山	裏磐梯高原	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
22	20	那須岳	板室沼ツ原	100.0	○	○	○		○	A	無線	宇都宮地方気象台		A	デジタル
23	21	日光白根山	湯元五色沢	73.0	○	○	○		○	S	無線	湯元		A	デジタル
24	22	草津白根山	青葉山西	97.4	○	○	○		○	S	無線	逢ノ峰		A	デジタル
25	23	浅間山	塩野山	194.9	○	○	○		○	S	無線	軽井沢特地観測所		A	デジタル
26	24	新潟焼山	大平カラサワ	102.7	○	○	○		○	S	無線	上早川		A	デジタル
27	25	焼岳	奥飛騨中尾	76.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
28	26	乗鞍岳	安曇野三本滝	103.0	○	○	○		○	A	アナログ	長野地方気象台		A	デジタル
29	27	御嶽山	田ノ原	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
30	28	白山	中飯場	－				○	○	A	光	白峰砂防出張所		A	デジタル
31	29	富士山	太郎坊	63.4	○	○	○		○	A	アナログ	御殿場市民会館		A	デジタル
32	30	箱根山	二の平	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
33	31	伊豆東部火山群	松原猪山	101.3	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
34	32-1	伊豆大島	北の山	94.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
35	32-2		泉津伊東無	63.5	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
36	32-3		二子山北西	94.4	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
37	33	新島	瀬戸山南	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
38	34	神津島	天上山西	99.0	○	○	○		○	S	無線	鴎穴		A	デジタル
39	35	三宅島	雄山南西	101.9	○	○	○			A	デジタル	－	－	－	－
			（空振観測点）	－	－	－	－	－	－	－	－	神着	○	A	デジタル
40	36	八丈島	西山南東山麓	50.4	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
41	37	青ケ島	松山ヶ平	83.9	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
42	38	鶴見岳・伽藍岳	野田湯山	－				○		A	アナログ	別府市鶴見		A	デジタル
			（空振観測点）	－	－	－	－	－	－	－	－	南立石日ノ平	○	A	デジタル
43	39	九重山	星生山北山腹	100.0	○	○	○		○	S	無線	長者原		A	デジタル
44	40	阿蘇山	古坊中	92.4	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
45	41	雲仙岳	国見岳北山腹	125.9	○	○	○		○	S	無線	礫石原公民館		A	デジタル
46	42	霧島山	高千穂河原	100.0	○	○	○		○	A	無線	霧島田口中継点		A	デジタル
47	43-1	桜島	黒神瀬戸	100.0	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
48	43-2		横山	86.9	○	○	○		○	A	デジタル	－	－	－	－
49	43-3		二俣あみだ川	103.0	○	○	○		○	S	無線	二俣中継点		A	デジタル
50	44	薩摩硫黄島	物草	－				○	○	A	無線	京大中継点		A	デジタル
51	45	口永良部島	新岳北東山麓	100.0	○	○	○		○	A	アナログ	京大中継点		A	デジタル
52	46	諏訪之瀬島	ナベタオ	96.0	○	○	○			S	無線	榊戸原	○	A	アナログ
			（中継点 2）	－	－	－	－	－	－	－	アナログ	鹿児島地方気象台		A	デジタル

電源 A：商用電源（AC） S：太陽電池電源（Solar）

合はその深さに決定した．また深さによる地質の差がない場合は，孔底を 100 m とした．地中計測部を固定する設置ケースより下に後述のフルホールセメンティングに用いる構造があるため，地中計測部下端は孔底の 2.4 m 上に位置する．

観測井に設置する速度型地震計および傾斜計の姿勢制御範囲は鉛直から 3 度以内であるため，設置部分の孔芯傾斜は 2 度以内を目標とした．工期の観点で調査孔掘削時は孔芯傾斜を測定せず，本掘削の前にセメントで埋め戻し，深度決定後に改めて孔芯傾斜を測定しながら観測井を掘削した．掘削の工法は泥水を用いたロータリー掘を基本とし，ケーシングパイプ径は最浅部 10 インチから最深部 5 インチの 3 段階を基本としたが，掘削地点の状況に応じて用いる各ケーシングパイプの長さと構成（ケーシングプログラム）や掘削工法の変更を行った．工法の例としては，ロータリーパーカッション，エアーハンマー, ソニックドリル, ミストボーリングなどがあり，一回の掘削でコア採取と観測井仕上げを行った地点もあった．挿入した各ケーシングパイプの外側はパイプの固定と掘削孔を介した地下水の移動を防ぐためセメントを充填した(フルホールセメンティング)．掘削の途中は多くの地点で逸水や湧水，孔壁の崩落など，火山地帯特有の困難な地質に悩まされ，修復困難で掘り直した地点もあり，また多くの地点で積雪や冬季の道路閉鎖により工事の中断を余儀なくされたが，最終的に全地点で概ね良好に施工された．

掘削後の孔底深度はロッドで確認（検尺）し，先端に非磁性の設置ケースを取り付けたケーシングパイプを挿入した．そのフルホールセメンティング硬化後に，設置ケース内側のキー（地中計測部の方位設定に用いる）の方位を測定した．これには火山周辺の地磁気異常の影響を受けないように，ジャイロによる測定器（精度は約 1 度）が用いられた．その動作原理は，地上に対して水平な軸の一定速度で回転するジャイロの慣性系に対する角速度に，加算される地球の自転角速度の成分が方位の cos 関数（回転軸の右ねじ方向が北向きで最大）となることを利用して，軸を水平面内で一周させ方位を検出する．なおこの測定器により設置ケースの傾斜(ベクトル)も取得され，傾斜計の姿勢制御の初期値として活用することができる．

採取したコアは産業技術総合研究所へ送付し，火山噴火予知連絡会の「コア解析グループ」によりコア解析が実施され，各火山の噴火履歴の解明等に活用された（詳しくは第 7 章参照)．また，各観測点の観測井掘削作業については，施工業者より提出された「観測井掘削作業報告書」に詳しくまとめられている．

2.3　機器設置調整

本装置の製作及び設置調整は概要で述べたように 2 つの請負業者によって実施された．このため，機器の設置にあたっては，2 つの業者間の工程調整が不可欠であった．また，待受工事業者や通信事業者との調整，地点によっては無線局免許を取得するために総合通信局との調整も必要であった．各観測点の機器設置を行うためには，これらの調整を行う工程管理が重要な作業となった．特に，地中部設置，地上部設置及び回線開通はほぼ同時期に作業をする必要があり，見通しが立ちにくい掘削作業の工程に左右されながら, 度重なる工程変更に対応するため, 関係する業者と幾度となく調整を行った．

設置調整時には各火山センター職員が動作確認に立ち会い，火山課からは工場での検査立ち会いで得た知見を含めて動作原理に関する資料（2.6 節，本稿のため一部加筆）を事前に共有した．

2.4　装置の構成及び仕様

火山総合観測装置には，観測局装置と中継局装置がある．観測局装置は，計測部，制御部，テレメータ部，電源部及び収納部から構成される．中継局装置は，テレメータ部，電源部及び収納部から構成される．使用環境温度は，地上機器は寒冷地での使用を考慮して－20℃～50℃，地中機器は火山体に設置することを考慮して 0～60℃の仕様とした．図 2-2 に機器構成図を，図 2-3 に機器概念図を示す．観測井は水で満たされた状態で, 機器設置及び観測を行うようになっている. これは, 微小な変動を観測する上で温度変化がもたらす影響を少なくするためと，防錆効果を兼ねている．

2.4.1　計測部

計測部には，埋設型センサーと地上型地震計があり，各観測点にはどちらかを設置した．埋設型センサーを設置した地点には温度測定装置も合わせて設

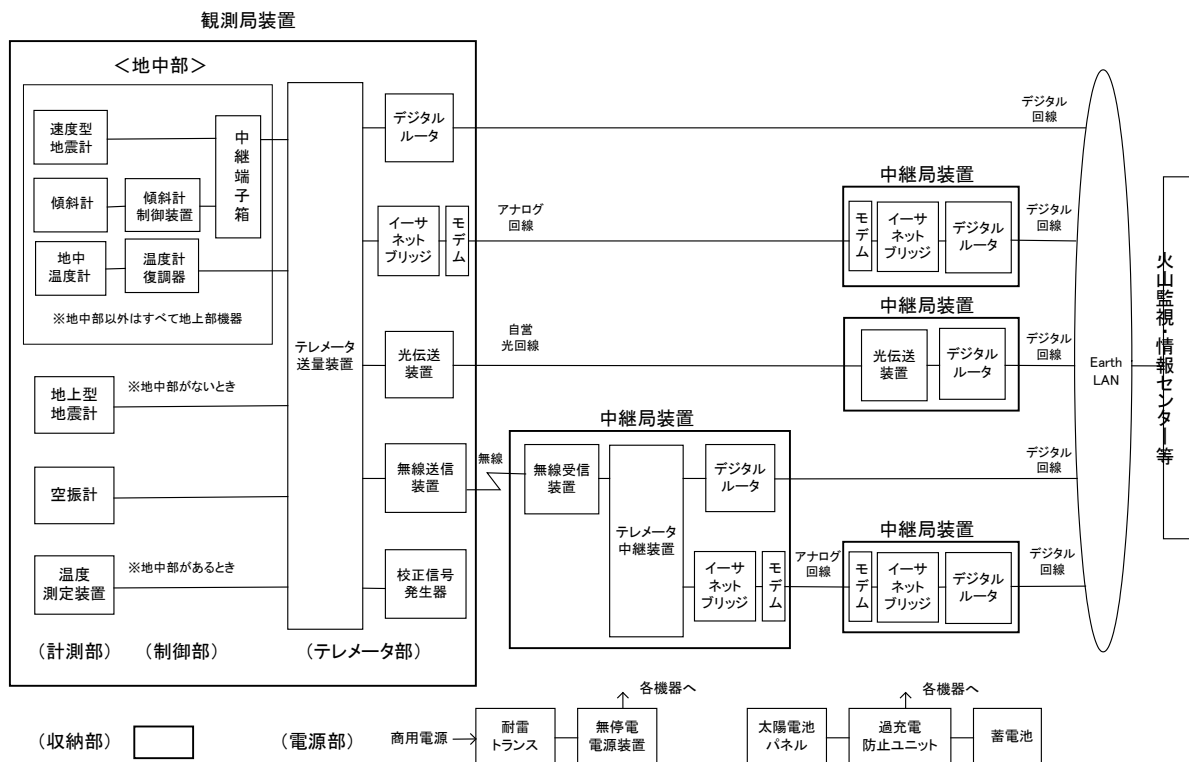



図 2-2　機器構成図

置した．空振計は全地点に設置したが，観測点ではなく中継点等に設置した地点もある．

(1) 埋設型センサー

埋設型センサーはステンレス製の耐圧容器の中に，速度型地震計，傾斜計，地中温度計を収容した総合センサーである（図 2-4 参照）．筐体の外側のキー溝を設置ケースのキー方位に合わせて設定することにより，設置時にセンサー方位が正しく東西南北を向く構造である．

① 速度型地震計

速度型地震計は，これまで気象庁が地上に設置してきた地震計と同等の特性を持たせた．ボアホールへの設置を行う為，筒状の縦型ケースに収める必要があり，水平成分では地上置き地震計では一般的なバネ振り子の原理を用いず，単振子の原理を用いた物になっている．

検出方式	動コイル速度型
検出成分	上下動 1 成分，水平動 2 成分
固有周期	1.0 秒 ±10%
電圧感度	1.7 V/[cm/s] ±10%（h 調整後）
減衰定数	h = 0.5
姿勢制御	傾斜補正範囲 ±3°
検定機能	テストコイル内蔵

② 傾斜計

傾斜計のセンサーは水平成分の加速度計で，その加速度の変化を重力加速度で割った量が傾斜変化（単位：radian）である．地震動の帯域は地上制御部のローパスフィルタでカットする．長周期側は周期無限大（DC）までを観測するため長期安定動作が必要で，組立後に坑道内の安定した環境で一定期間の連続動作試験を経て設置されている．1 nrad = 1×10^{-9} rad（1km 先の 1μm の動き）を捉えることができる精度を持つ．

検出方式	力平衡型振子式加速度計
検出成分	水平動 2 成分
測定範囲	$\pm2\times10^{-3}$ rad（出力±10V 以下）
感度	5 mV/μrad
ノイズレベル	1×10^{-9} rad 以下
周波数特性	DC～ 5 Hz
姿勢制御	傾斜補正範囲 ±3°
検定機能	テストコイル内蔵

③ 地中温度計

検出方式	水晶発振方式
測定範囲	0 ～ 70 ℃
精度	±0.1 ℃以内
分解能	0.001 ℃

図 2-3　機器概念図（無線中継型）

No.	名称	数量
1	信号ケーブル	1
2	耐圧容器固定器	1
3	信号ケーブル接続部	1
4	耐雷用保安基板	1
5	中継基板	1
6	地中温度計	1
7	防振リング	2
8	速度型地震計（U-D 成分）	1
9	速度型地震計（E-W 成分）	1
10	耐圧容器	1
11	速度型地震計（N-S 成分）	1
12	方位設定器	1
13	傾斜計（N-S 成分、E-W 成分）	1
14	水漏れ検知器（着底検出器内）	1
15	着底検出器	1

A1	耐雷トランス	RF-30AC 1KVA	1
A2	UPS	THA1000-10	1
A4	音圧増幅器	TYPE-3348	1
A5	中継端子盤	614745-001	1
A6	温度測定装置	622173-001	1
A7	テレメータ送量装置	614733-001	1
A8	デジタルルータ	RTX1200	1
A9	校正信号発生器	622185-001	1
A11	収納部	614761-001	1

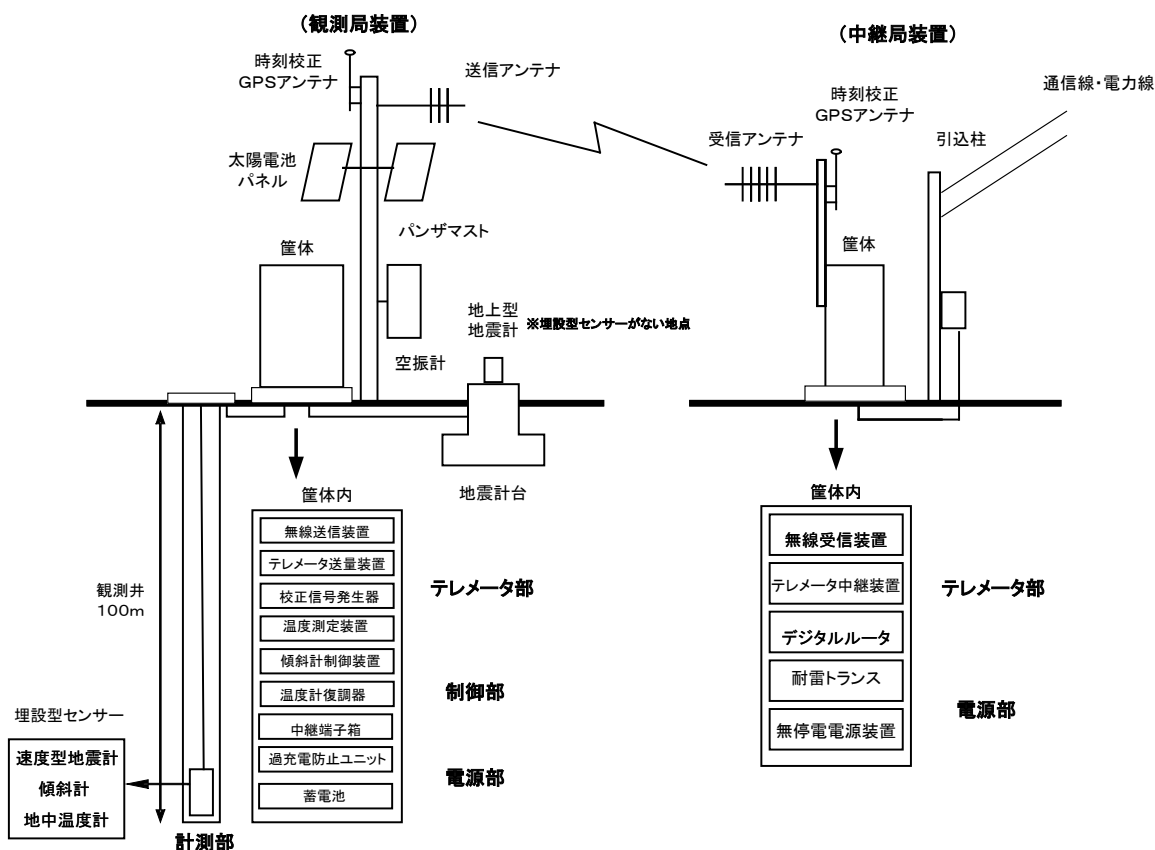
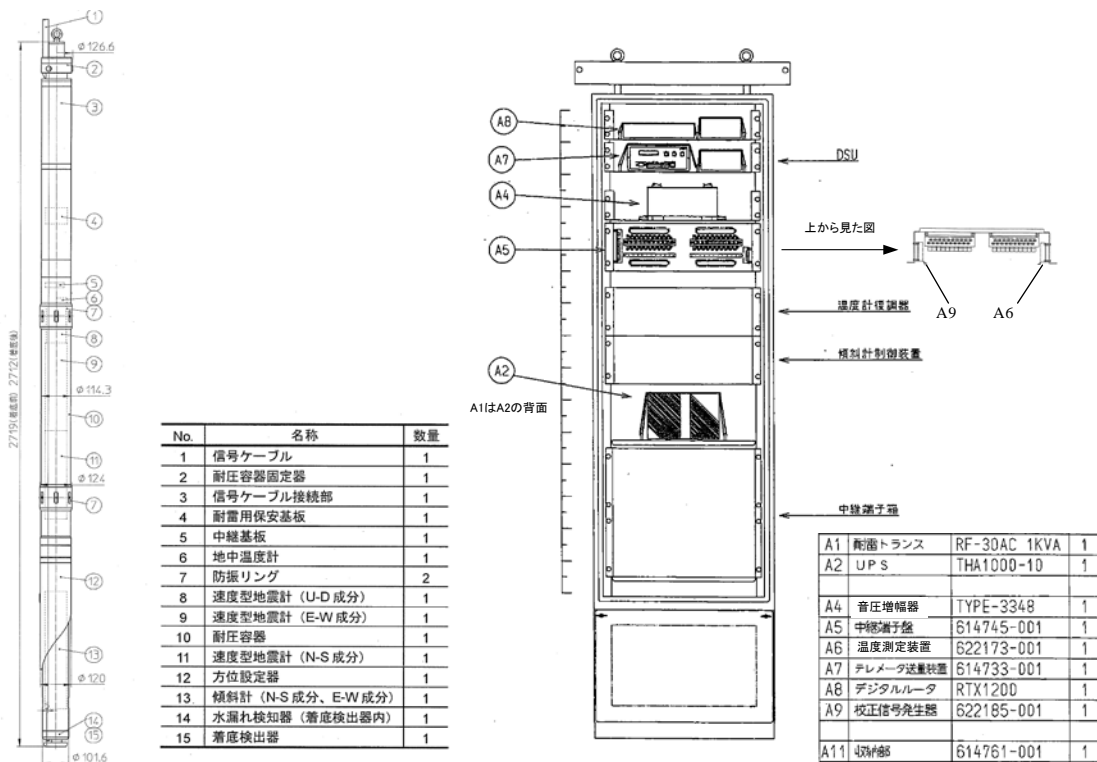



図 2-4　機器外観図

左：埋設型センサー，右：観測局装置屋外筐体（デジタル送信型）

④　耐圧容器

耐水圧	3 MPa 以上
材質	SUS316
外寸	全長 2719 mm　外径 127 mm

(2) **地上型地震計**

地上型地震計は，3 成分一体型のものを採用した．

検出方式	動コイル速度型
検出成分	上下動 1 成分，水平動 2 成分
固有周期	1.0 秒 ±5%
電圧感度	0.83 V/[cm/s]（open 時） → 0.66 （h 調整後）
コイル抵抗	500 Ω ±5%
減衰定数	h = 0.5
検定コイル	3 成分
外形寸法	約 200W×200D×280H(mm)

(3) **空振計**

空振計は,低周波マイクロホンである空振変換器,防風スクリーン，音圧増幅器で構成されている．

①　空振変換器

周波数特性	0.1 ～ 100 Hz
感度	2.5 V/hPa
ダイナミックレンジ	70 ～ 150 dBSPL

②　音圧増幅器

周波数特性	0.1 ～ 100Hz（±3dB 以下）
スケールレンジ	20 ～ 6320 μbar

(4) **温度測定装置**

温度測定装置は，傾斜計制御装置及びテレメータの AD 変換部が温度の影響を受けるため，装置の動作環境を把握するため，収納部内部の気温を測定している．

分解能	0.1 ℃
温度精度	±2 ℃
温度計測範囲	-20 ～ 50 ℃
非直線性	±0.5 ℃

2.4.2　制御部

制御部は，傾斜計制御装置，温度計復調器で構成されている．傾斜計制御装置は，傾斜計センサー（加速度計）を駆動し，その出力から地震波の帯域をカットするローパスフィルタと，出力先の入力レンジに適合させる感度切替回路，ゼロ点補正回路およびアッテネータ回路を持つ．また，傾斜補正の姿勢制御及び検定信号を印加する機能も持っている．今回の機器構成で出力先の送量装置は十分に広い入力レンジ（±10V）とダイナミックレンジがあるため，感度切替とアッテネータはいずれも×1 を用い，ゼロ点補正も初期調整以降は不要である．使用電源に応じて AC 仕様と DC 仕様がある．温度計復調器は，地中温度計センサーを駆動しその出力信号を復調（周波数変化から温度変化への演算）してシリアル出力する．復調に用いる係数はセンサーに固有で，復調器がメモリー上に保持する．

(1) **傾斜計制御装置**

ローパスフィルタ	Tc = 30s（バタワース 2 次）
利得（感度切替×アッテネータ）	×1～×0.02
モニター	メータ（X.Y）±1V，±10V 切換可 （X+, Y+）→（傾斜 Nup, Eup）
校正装置	DC 信号による校正方式
傾斜補正	パルスモータによる姿勢制御

(2) **温度計復調器**

方式	周波数カウント方式
演算	周波数の 2 次式にて温度算出
出力フィルタ	ディジタル（時定数可変, OFF 可）
表示	５桁（0.001℃単位）
出力	シリアル出力

2.4.3　テレメータ部

テレメータ部は，テレメータ送量装置，回線接続機器及び校正信号発生器で構成されている．テレメータ送量装置は，地震計や傾斜計のデータを A/D 変換すると共に，観測データの WIN フォーマット化及び IP 送信を行っている．回線接続機器は，WIN パケット化されたデータをネットワークあるいは回線に乗せる役割をする機器である．回線種別により，デジタル専用線ルータ，アナログ専用線モデム及びイーサネットブリッジ，光伝送装置，無線送信装置及び無線受信装置がある．無線の場合は，回線接続機器とは別にテレメータ送量装置と同等の機能をもつ，テレメータ中継装置が設置されている．また，デジタル専用線ルータ以外は，観測点から中継点までデータを伝送するための機器である．最終的にはすべての観測点データはデジタル専用線ルータを経由して IP-VPN(Earth-LAN)に接続されている．無線については，400MHz 帯の気象援助局免許を取得した．

(1) **テレメータ送量装置・テレメータ中継装置**

A/D 変換方式	デルタ・シグマ型
サンプリング	100Hz，200Hz，1Hz 選択可
ダイナミックレンジ	135dB 以上（24bit 分解時）
A/D 分解能	24bit または 16bit
入力電圧範囲	±10Vp-p
アンプ GAIN	-6dB～30dB（±5Vp-p 基準） (基本設定[dB]: 地震計 18，空振計 0，傾斜計-6)
時刻校正	GPS，NTP

対応プロトコル　TCP，UDP
データフォーマット　WIN フォーマット

(2) **デジタル専用線ルータ**

YAMAHA　RTX-1200

(3) **アナログ専用線モデム**

ハイテクインター 3920Plus-SPL

(4) **イーサネットブリッジ**

ハイテクインター ET100

(5) **光伝送装置**

機器接続 IF　100BASE-FX
伝送速度　100 Mbps
光伝送距離　2km～80km

(6) **無線送信装置・無線受信装置**

送信周波数　400 MHz 帯の一波
占有帯域幅　8.5 kHz
伝送速度　9600 bps
電波形式　F1D
変調方式　GMSK
送信出力　1 W

(7) **校正信号発生器**

校正信号発生器は，速度型地震計及び地上型地震計の検定コイルに対して検定信号を入力する．送量装置に設定したプログラムで定時に起動する．地震計の応答出力は，十分に大きくかつ固定倍率の波形表示で異常を把握できるよう過大にならないことも考慮し，概ね 2×10^{-5} [m/s]となる電流値に設定している．各地震計・各成分の出力電流値及び調整可能範囲は，以下のとおりである．

埋設型
　上下動　680 μA　(629～2000μA)
　水平動　5.44 μA　(5～10 μA)
地上型
　全成分　5mA　(1～10mA)

2.4.4　電源部

電源部は，商用電源が確保できない地点については，太陽電池電源装置を設置し，商用電源が確保できる地点には無停電電源装置を設置した．

太陽電池電源装置は，太陽電池パネル，過充電防止ユニット及び蓄電池から構成され，蓄電池は無日照で連続 20 日間以上機器が動作する容量をもつ.無停電電源装置は約 3 時間の容量をもつ．無停電電源装置と商用電源の間には雷対策として耐雷トランスを配置した．

2.4.5　収納部

収納部には，屋内・屋外，積雪地等の様々な機器設置条件に対応して，屋外筐体，大型屋外筐体，耐雪型屋外筐体,屋内筐体,地下筐体の 5 種類がある．各部を収納する形の自立型の屋外筐体（図 2-4 参照）が基本となるが，人が内部で作業ができる大型屋外筐体を設置した地点もある．積雪の多い地点は耐雪型屋外筐体とした．十勝岳の上ホロカメットク山だけは，山岳観測点のため地下筐体を設置した．室内に機器を設置した場合は，屋内筐体またはラックを設置した．

2.4.6　雷対策

電源部以外の雷対策として各所に避雷器を設置した．地上型地震計に信号避雷器，時刻校正用 GPS アンテナと無線送受信アンテナ用に同軸避雷器，デジタル専用線とアナログ専用線に回線避雷器を設置した．埋設型センサーは耐圧容器内に耐雷用保安基板を装備した．アースは耐雷トランス以降の観測・伝送機器を一括してケーシングアースで接地し，その他のアンテナや避雷器等は別に筐体の周囲にループアースを埋めて接地した．

2.5　硫黄島

硫黄島の観測点整備は防衛省との省庁間協力により実施し，他の整備とは切り離して進めたため，別に記載する．硫黄島には，現在，一般住民は居住しておらず，防衛省の硫黄島航空基地隊が設置されていることから，手続き等が他の総合観測点と異なることから他の 46 火山と分離して進めた．

整備機器については,平成 21 年度に機動観測機器と同時に購入し,平成 22 年度に取付け調整を行った．整備する機器の構成及びネットワーク構成は図 2-5 のとおりである．衛星回線により震動及び遠望データを伝送する VSAT 装置の受信局（本土側）は，気象庁本庁は数年後に庁舎移転を控えていることから，火山監視・情報センターシステム（VOIS）が本庁とともに 2 中枢整備される福岡管区気象台に整備した．また，現地中継局での必要な電力については，硫黄島航空基地隊より給電した．基礎工事については，総務部施設物品管理室により調達した．

なお，GPS 観測点については，東京都管理の海浜地であるが，日米地位協定に基づく日米共同利用区域のため手続きに時間を要しており，本稿執筆段階においても手続き中で，平成 25 年度整備予定である．

図 2-5　硫黄島観測機器ネットワーク構成図

図 2-6　硫黄島観測施設の位置

（※GPS は平成 24 年度以降整備予定）

※観測点はポータブル GPS，中継点他は国土地理院の電子国土基本図による．

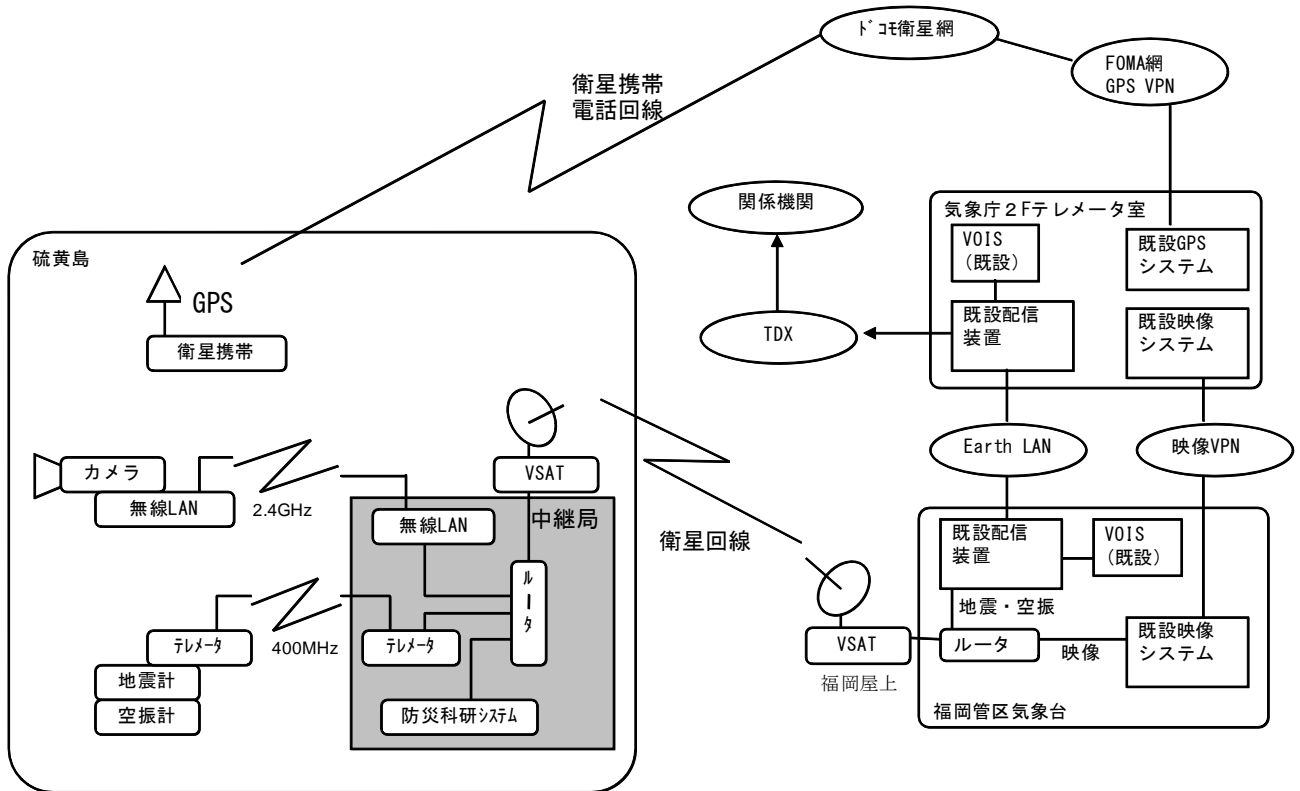



表 2-2　観測点所在地及び緯度経度

観測種目 観測点名	観測点所在地	緯度経度
震動･空振 千鳥	東京都小笠原村硫黄島字千鳥ヶ原	N24°46.1’ E141°25.4’
遠望 阿蘇台東	東京都小笠原村硫黄島字元山	N24°46.9’ E141°18.6’
GPS 観測 北の鼻	東京都小笠原村硫黄島字漂流木 9 先海浜地	N24°48.5’ E141°19.6’ 予定
中継点 元山	東京都小笠原村硫黄島字玉名山 2 番	N24°46.8’ E141°19.5’
VSAT 送信局 元山	東京都小笠原村硫黄島字玉名山 2 番	N24°46.8’ E141°19.5’
VSAT 受信局 福岡管区	福岡市中央区大濠 1 丁目 2-36	N33°34.9’ E130°22.6’

観測点配置図は図 2-6 のとおりで，既設の防災科学技術研究所及び国土地理院の観測点も示す．観測点の所在地及び緯度経度を表 2-2 に示す．

遠望観測及び震動観測の中継点の機器は，硫黄島

航空基地隊管制塔 2 階の気象班機械室に設置した. 2 階建ての同管制塔屋上に無線受信アンテナを設置した．アンテナは，既設の防災科学技術研究所のアンテナ台に共架とした.

2.5.1　整備に係る諸手続き

硫黄島には，防災科学技術研究所及び国土地理院の観測点がすでに整備されている．これら機関と観測点配置などについて意見交換を行い，観測点配置を決めた．傾斜計については，硫黄島全体が高地熱のため設置を断念した．また，防災科学技術研究所の震動観測点 3 地点のデータは，本整備以前は基本的に現地収録だったが，当庁が設置する中継点に防災科学技術研究所のデータも集約されており，硫黄島現地の中継点でデータを受け，気象庁データとともにテレメータ出来るようになった.

整備にあたり土地使用に関する申請等の諸手続きを行った機関を表 2-3 に示す.

表 2-3　硫黄島整備に係る諸手続き機関

手続き	機関
省庁間協力(事業全体)	防衛省防衛政策局 海上幕僚監部
機器整備等のお願い	防衛省防衛政策局 北関東防衛局 林野庁関東森林管理局
機材の輸送	海上自衛隊
遠望観測点の土地借用	林野庁関東森林管理局 小笠原総合事務所
震動観測点の土地借用	北関東防衛局
防衛省航空機搭乗手続	防衛省海上幕僚監部 防衛省航空幕僚監部
中継点受信局アンテナ共架調整	防災科学技術研究所
遺骨収集	厚生労働省社会・援護局

整備のために実施した諸手続きは，基本的には他の 46 火山同様，土地使用に関する申請である．しかし，防衛省との省庁間協力の枠組みの中で進めたこと，厚生労働省の遺骨収集事業への協力などは，硫黄島特有であった．各点の概要は以下の通り.

・遠望観測点：国有林であり，詳細な打合せは関東森林管理局で行い，手続きは小笠原総合事務所と行った.

・震動観測点：防衛省が借り受けている国有林で，3 者で協議した結果，当庁が防衛省に借地申請を行い，防衛省から関東森林管理局に利用申請を行った.

・GPS 観測点：国土交通省の海浜地で東京都が管理している．この土地は，日米地位協定に基づく日米共同利用区域のため，防衛省を通じ米国との調整を実施中である.

・中継点（硫黄島航空基地隊管制塔）：行政財産の使用について防衛省に申請.

・中継点（VSAT アンテナ）：防衛省が民間から借り受けている．土地，土地所有者の承認を得て防衛省に申請.

整備は，平成 21 年度に計画を固め，平成 22 年度の防衛省の業務支援項目に盛り込み，平成 22 年 3 月末に正式に決定した．これを受けて，平成 22 年度の最初の補正予算で取付調整の入札を行い，10 月に業者が決定した．12 月には土地使用等に関する手続きが完了し，翌平成 23 年 1 月下旬に資材を運搬し，2 月から 3 月にかけて現地への設置を行った.

厚生労働省の遺骨収集への協力については，現地基地隊との調整段階で実施することとなった．硫黄島遺骨調査団が平成 22 年 11 月 17～26 日の調査の際に，遠望観測点及び震動観測点の整備予定場所で深さ約 3 メートルの試掘調査を実施したが遺骨は確認されなかった.

2.5.2　硫黄島に整備した機器の構成

機器の配置構成は，図 2-5 のとおりである．機器の構成は以下のとおりである.

（１） 遠望観測装置

遠望観測点には「4．火山遠望観測装置」に記載した火口カメラと同等のものを設置した，現地での電源は太陽光発電装置で，無線 LAN（2.4GHz）で中継点に映像データを送信している.

（２） 震動観測装置

センサーはサーセル社の L4C-3D で，地上置きとした．明星電気の無線テレメータ装置（VHF400MHz）で中継点まで送信している.

（３） GPS 観測装置

機器構成については,「3．GPS 観測装置」の機器と同等であるが，テレメータについては衛星携帯電話を使用する予定である．この装置については，平成 24 年度整備予定である．

（４） VSAT 装置

通信は, スカパーJSAT 社の VSAT 装置により, 通信衛星スーパーバードを使った Esbird サービスにより行う．装置は無線設備規則第 54 条の 3 の規定に定める技術適合証明を取得したものとし，送信局（硫黄島：防衛省硫黄島航空基地隊），受信局（福岡管区気象台）からなる．それぞれの局はアンテナ装置，送受信装置（ODU：Out Door Unit），衛星端局装置（IDU：In Door Unit）から構成される，各装置の仕様の概要は以下の通りである．

（ア）アンテナ装置

硫黄島は台風の通り道になる事が多く，耐風速 90m/s，福岡局は耐風速 60m/s で設計し，パラボラの直径は，硫黄島 1.8m，福岡 1.2m である．硫黄島は，海上自衛隊庁舎の南側に地上置きとした．福岡局は福岡管区気象台の屋上に既設の無線鉄塔の下部に取り付けた．

（イ）送受信装置

本装置は偏分波器（OMT），送信周波数変換部及び増幅部（UPA），低雑音受信周波数変換部（LNB）で構成する装置で，アンテナ装置へ接続する．

周波数範囲：送信 14.00 ～14.50 GHz
受信 12.25 ～12.75 GHz

送信周波数安定度：±1×10^{-7} 以内/年

外部リファレンス周波数　100MH z

飽和送信電力　30W（硫黄島），4W（福岡）

最大運用電力　37.2dBm 以上

（ウ）衛星端局装置

本装置は，送受信装置（ODU）とのインターフェース部（ODU INF）/分波部（HYB），IP 型データ伝送回線に関わる制御を行うための制御回線用変復調部（CSC MODEM）と，IP 型データ伝送を行うためのデータ通信回線用の変復調部（IP MODEM）及び衛星用ルータ（SAT ROUTER），送受信装置（ODU）へ電源供給を行う電源部（PWR）で構成する．

2.6 地中計測部の各機器の原理と特性

2.6.1　　速度型地震計

(1) 短周期速度型地震計の構造と原理

a.　構造と原理

「動コイル式速度型地震計」である．その原理は振り子の運動と電磁誘導で，ケース（変換器，換振器とも言う）内部に固定された永久磁石の磁場の中で, 振り子に取り付けられた検出コイルが運動し（図 2-7 の上），その両端には電磁誘導により速度に比例する電圧が生じる．地震計の観点でこの「速度」は，振り子の錘（おもり，以下では単に錘）を基準とする地動の相対速度である．地動の周期が振り子の固有周期より短い帯域では，錘は近似的に不動点になることから，地動速度≒相対速度と見なすことができ，「速度型地震計」として機能する．

振り子の振動は自然に減衰するが（オープン時ダンピング), 固有周期付近では共振を防ぐ必要がある．そのため検出コイルの両端をダンピング抵抗で閉じて, 回路に起電力に応じた電流が流れることにより, 永久磁石の磁場との間で相対速度に比例する抵抗力を生じさせる（電磁ダンピング）．電磁ダンピングとオープン時ダンピングの和が減衰定数 h で，その値は振り子の質量及び固有周期を一定とみなすと，相対速度あたりの抵抗力の大きさに比例する．またダンピング抵抗は電流から指定の感度（電圧／速度）で電圧を出力する機能も兼ねる（図 2-7 の下）．

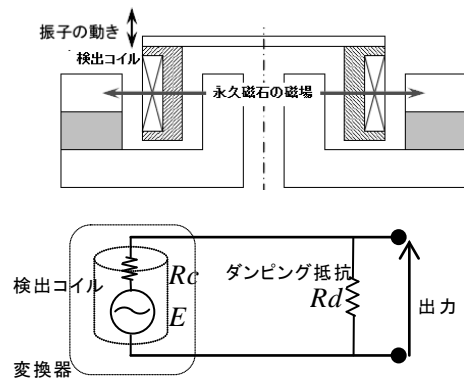



図 2-7　速度型地震計の変換器の原理と出力回路

b.　周期（周波数）特性

この地震計の特性を決めるパラメータは 3 個で，振り子の固有周期（1 秒），固有周期付近での特性を決める減衰定数 h（0.5），および特性が平坦な帯域（周期≪固有周期）での速度に対する電圧感度（170

V/ms^{-1}）である．() 内に示した値は今回整備の仕様である．支点（地動）の振動周期を横軸に，錘に対する支点の相対運動（∝出力電圧）の振幅（地動振幅に対する振幅比）と位相を縦軸に描いたグラフ（図2-8，振幅特性は両対数，位相特性は片対数）が，動コイル型速度地震計の特性曲線の元になる．ここで「平坦」とは，概ね周期に依存せず一定という意味で，図の左側の固有周期から十分離れた帯域で，錘が不動点として振る舞うことにより成り立つ．

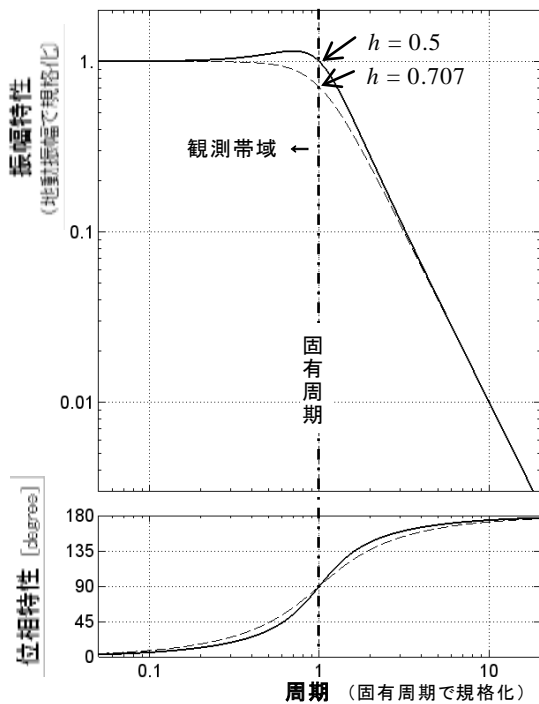



図 2-8　振り子の運動の周期特性
振り子の支点を強制振動させた時の振り子の運動を，錘を基準にした支点の相対運動として作図．振り子を用いた地震計の特性は，この相対運動の特性で説明される．

錘が近似的に不動点になる固有周期より短い帯域が，速度地震計としての観測帯域（地動速度≒相対速度，図 2-8 の左半分）で，それより周期が長くなると出力は急速に小さくなる（図 2-8 の右半分，周期の 2 乗に反比例）．動コイル式速度型地震計は，地動速度に対して，このような固有周期以下を通過帯域とするハイパスフィルタ（high-pass filter，高い周波数＝短い周期を通す）の特性を持ち，固有周期 1 秒の地震計は，周期 1 秒以下の短周期の地動に概ね平坦な特性を持つことから短周期地震計と呼ばれる．実際は様々な周期で構成されている地動から，この特性のフィルタで固有周期より短い帯域を取り出して観測しているのである．なお，図の左端よりさらに短周期（高周波数）側についても，ディジタルデータに変換する過程で，サンプリング周波数の 1/2 倍未満で制限される．

振り子の運動については，支点の変位と，支点を基準とする錘の相対変位の関係が，実験等で直感的に考察しやすい．前述のとおりその基準を逆にしたのが地震計の原理で，さらに変位と相対変位で成り立つ関係は，そのまま速度と相対速度の関係に置き換えることができる．図 2-8 の特性は，変位に対する相対変位にも，速度に対する相対速度にも共通し，振幅の縦軸はそのいずれで読むこともできる．

まとめると，地動速度に対する相対速度すなわち速度地震計の振幅応答は，振り子の運動の性質により以下のようになる．

- 周期が固有周期より短くなるにつれ，平坦に近づく（図2-8の左側：振り子は近似的に不動点になる）
  相対速度振幅 ≒ 地動速度振幅，
  （グラフの傾きはゼロに漸近）
- 周期が固有周期より長くなるにつれ，周期の2乗に反比例して減衰する（図2-8の右側）
  相対速度振幅
  ≒ 地動速度振幅／（地動周期／固有周期）^{2}，
  （グラフの傾きは －2 に漸近）
- 周期が固有周期と等しいとき，減衰定数 h により，短周期側の平坦な帯域の$1/(2h)$
  相対速度振幅 ＝ 地動速度振幅／$(2h)$，
  （グラフの接線の傾きは －1 ）

また位相応答は，図の左端付近で0度に近く，固有周期に向かって＋90度（錘を基準として支点が進む）に変化し，右端付近では+180度に近づく．錘が次第に不動点でなくなり，地動より遅れて運動するようになることによる．

気象庁が用いている $h = 0.5$ では，固有周期において $1/(2h) = 1$ で，平坦な帯域と感度が等しくなる．その他に平坦な帯域が最も広い特性（最大平坦特性）を得る値として $h = 0.707$ （$=1/\sqrt{2}$）も好まれる．

速度地震計としての電圧感度は，検出コイル自体の電圧感度 E [V/ms^{-1}]とコイル抵抗 Rc[Ω]，ダンピング抵抗 Rd[Ω]の回路（図2-7の下）から，

$$E\frac{Rd}{Rc+Rd}\quad [\mathrm{V/ms^{-1}}]$$

であり，Rd が大きいほど電流は制限され電磁ダンピングは小さくなることにより，同じ変換器に対して h が小さいほうが速度計の感度は大きい．

特性試験では，まず速度計の固有周期を測定し，減衰定数 h=0.5（速度振幅一定の強制振動で固有周期の電圧出力振幅が周期<0.1sと等しくなる）となるダンピング抵抗値を求め，その値に近い抵抗器を選別して，回路を構成した場合の減衰定数と電圧感度が仕様に適合することを確認する．この検査は，温度の影響による特性の変化を考慮し，設置予定の環境温度に近い温度で行う．次にテストコイルを用いて，振り子にステップ状の力を加えたときの出力波形（ステップ応答の速度に比例する電圧）を記録する．この波形が設置時の動作確認の基準になる．

(2) ステップ応答

振り子に取り付けられたテストコイルの両端に，直流電圧を加えて電流が流れ始めると，ケース側の永久磁石との間で振り子には電流に比例したステップ状の力が生じ，つりあいの位置が移動する．すると振り子は元の位置で初速ゼロから，新たなつりあいの位置を中心に減衰振動して静止する．次にその状態から電流を切ると，電流を流したときと全く逆に，変位した状態で初速ゼロから元のつりあいの位置を中心に減衰振動して静止する．これがステップ状の力に対する振り子の変位応答で，減衰の仕方は h のみで決まる．

このとき検出コイルの両端には速度に比例する電圧が生じ，その波形がステップ状の力に対する振り子の応答の速度波形（図2-9）である（厳密にはテス

図 2-9　速度型地震計のステップ応答と振り子の変位
テストコイルによるステップ応答試験の振り子の変位と速度の概念図．この速度に比例して電圧が出力される．縦軸は電流 ON 中の矩形加速度 –1[L/s^2]で規格化した速度[L/s]及び変位[L].

トコイルの自己誘導によりステップの立ち上がりに時間遅れがある）．なお，電流の ON と OFF の応答は図のように近似的に正負対称だが，厳密には振り子の変位と復元力の関係は非線形で，通電中はテストコイルの自己発熱の影響もあるため，OFF時，即ち本来の中立位置に対する減衰振動の記録が基準とされている．

速度に比例する抵抗力が働く振り子の運動方程式の減衰振動の解（h<1）から，振幅（$a_1, a_2, \ldots$）の絶対値の比 V(制振度)と h との関係は次式の通りで，h = 0.5の場合は V = 6.13…である．なおオープン時ダンピングは個体ごとに概ね0.2～0.3でばらつき，V は1.9～2.7程度になる．

$$V = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \cdots = \exp\left(\frac{\pi h}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

また減衰振動の周期 T'と固有周期 T_0 と h の関係は次式の通りであり，

$$T_0 = T'\sqrt{1-h^2}$$

$T'／T_0$ の値は h = 0.5 のとき1.15，また h = 0.28 のとき 1.04 になる（L4C 型変換器のオープン時，減衰振動周期は固有周期より約4%伸びる）．

(3) 姿勢制御

水平動の速度型地震計の振り子と，振れの両側の限度（たとえば NS 成分について N 側と S 側）に，振れ限度を検出するための接点がある．これらの接点の開閉はセンサーケーブルを通して，抵抗レンジのテスターで監視できる．

振り子の中立位置から両側に等しい振れ幅が確保されれば，姿勢が調整された状態である．このとき振り子に取り付けられたテストコイルに，等しい電流を正方向と逆方向に交互に流すと，ある電流値で両側の接点とちょうど接する状態になる．この状態を探索するために，姿勢を制御しては電流を加減して正逆に流し，テスターで両側の接点の開閉を監視し，接点の閉じ具合が等しくなる方向にさらに姿勢を制御する，という操作を繰り返して，次第に最適な姿勢に調整していく．

なお速度計の姿勢は，姿勢制御用パルスモータの軸に取り付けられた偏心カムで調整されるので，パルスモータを1方向に回転させても，姿勢は周期的に運動する．

2.6.2　傾斜計

(1) 傾斜計の構造と原理

傾斜観測は地盤の傾きの変動，すなわち時間的な変化の観測で，現在の観測値を過去と比較して初めて意味を持つ．絶対的なゼロの基準があるわけではない．

a.　振り子式傾斜計の構造と原理

（センサー）

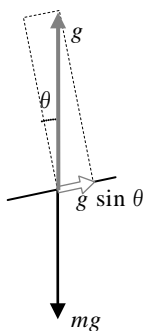
振り子式傾斜計のセンサーは，水平2成分（NS および EW 成分）の加速度計で構成される．加速度計は加速度運動に比例して逆向きに生じる見かけの力（慣性力）を検出する．重力も慣性力と同じ性質の力で，加速度計はそれを鉛直上向きの加速度 g の運動で生じた慣性力として検出し，その g を計測できる．従って測定方向を横にして水平2成分で計測することにより，地盤に固定された概ね水平な仮想的な平面に対する鉛直上向き加速度 g の正射影成分が計測できる．その加速度成分の変化を重力加速度で割った量が，即ち傾斜変化（単位：radian）である（図 2-10）．この加速度成分は地盤の上がり方向が正で，気象庁の傾斜の極性定義も同様である．

鉛直下向きの重力 mg を慣性力とみなした時の，鉛直上向きの加速度 g と，水平成分の加速度計が計測する $g\ \sin\theta$ の関係．その変化 $g\Delta\theta$ を g で割って，傾斜＝$\Delta\theta$ を観測する．図は 1 成分を示す．

図 2-10　傾斜と加速度計による測定

傾斜計として必要な条件は，十分なダイナミックレンジ（傾斜 1×10^{-9} ～ 2×10^{-3} rad ⇔ 加速度 10×10^{-9} ～20×10^{-3} m/s^2）と，周期∞まで（直流までの意味で～DCなどと表現）平坦な出力特性である．今回整備の傾斜計の電圧感度は 5 mV/μrad である（加速度感度 5 mV/(9.8×10^{-6} ms^{-2}) = 510 V/ ms^{-2})．

センサーは力平衡式の加速度計で，振り子のケースに対する位置を静電容量で検出し，傾斜で生じる位置の変化を打ち消すように電磁石に流す電流を自動制御(フィードバック)して振り子に力を加える．結果としてその電流は振り子を動かそうとする力，すなわち加速度(重力加速度の正射影)に比例する．このような自動的な追従制御の仕組みを一般にサーボ機構といい，サーボ型加速度計とも呼ばれる．傾斜計のセンサーは，ひとつの振り子で2つの支点（直交2方向の振動軸）を持ち，2方向のサーボ機構が取り付けられている．なおメーカの説明書および試験成績書の X・Y 方向は N・E 方向である点に注意する．

センサーには2方向に独立にテストコイルが取り付けられ，流す電流に比例する力を振り子に加えることができる．また設置初期の孔曲がりと大きな傾斜変動に対応するため，2方向独立に鉛直から3度まで，パルスモータでセンサーの姿勢を制御できる．

（地上制御部）

地盤の加速度は，地盤の傾斜の他，地震等による地動の並進でも生じる．そのため加速度計センサーの出力電圧から，地上制御部のローパスフィルタにより地震動の帯域を低減させる．ローパスフィルタはカットオフ周期30秒のバタワース2次型で，地上制御部内の減衰器基板に実装されている．地上制御部の信号経路の概念図は図2-11のとおりで，センサーの出力レンジは±10 V／±2 mrad で，今回整備のテレメータ入力レンジは±10 V（明星–6 dB, 白山0 dB）でダイナミックレンジも十分（135dB）であることから，フィルタの後にある感度切替回路およびアッテネータ回路はいずれも×1を用い，ゼロ補正は初期設定以降は調整不要である．

現地制御用に，短絡によりテストコイルへ電流が出力される電流計端子，および姿勢制御用パルスモータの制御パネルがある．

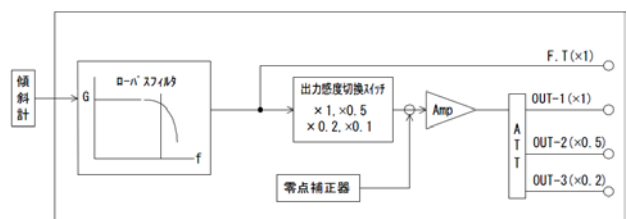



図 2-11　傾斜計地上制御部の信号経路の概念図

b.　感度

加速度計センサーの単位傾斜量に対する出力電圧が指定の値（5mV/µrad）になるように，フィードバック電流から電圧を取り出すための抵抗値（感度抵抗）で，傾斜計としての感度が調整され，その後，規定電流をテストコイルに流した時のステップ応答

（後述）で，テスト電流に対する出力電圧が記録されている．この記録は振動ノイズを避けるため地上制御部のフィルタを通し，フィルタ特性の確認を兼ねて，総合動作確認の基準となる（30秒のバタワース2次型ローパスフィルタの理論的なステップ応答（70%応答時間＝9秒，図2-12の下）との比較で良否を判断）. 加速度入力に対してこのローパスフィルタを通した出力の振幅特性を，図2-13に示す．なお，2方向に振動する振り子の2個の支点の高さが異なるため, 同じテスト電流に対する出力電圧はNS<EW，また短周期側（5Hz 付近の折れ点）の出力特性はNS>EW，のように成分により差異が生じているが，傾斜に対する感度調整は成分ごとで，必要な帯域は30秒以上のため，この差異は観測には影響しない．

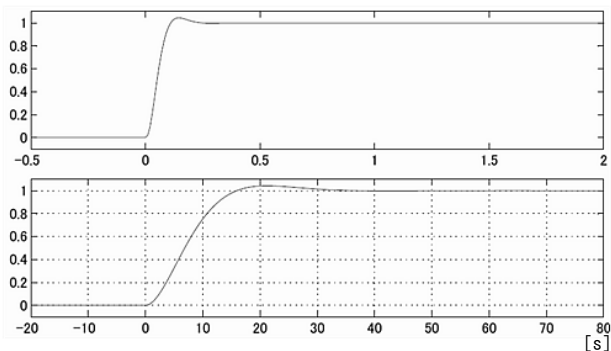



図 2-12　傾斜計センサーと地上制御部のステップ応答

上：傾斜計センサー（加速度計）のステップ応答の概要（縦軸は規格化）．実際は，振り子の構造から，NS と EW で異なる．

下：地上制御部のローパスフィルタ（バタワース 2 次型，Tc=30 秒）のステップ応答（縦軸は規格化）．センサーの出力が，地上制御部のこのフィルタを通して，テレメータに入力される．

(2) ステップ応答

地上制御部のテストコイル端子を，電流計（マルチメータ）を接続して短絡すると，振り子の振動方向に取り付けられたテストコイルに規定の直流電流（100μA）が流れ，永久磁石の磁場との間で振り子に力が加わり，ステップ状に傾斜変化が生じたのと同じ状態になる．この力を打ち消すだけのフィードバック電流が自動的に制御され，振り子は元の姿勢を保つ. その電流の変化を電圧として取り出すので，加速度計の出力にはステップ状の電圧変化（ステップ応答）を生じる．加速度計の短周期側の特性は約 5 Hz まで平坦で，ステップ応答は瞬時に安定する（図2-12の上）. この加速度計のステップ応答の記録には極めて静穏な環境が必要なため，地中部設置後に動作を確認する．地上制御部のフィルタを通したステップ応答は前述のとおりである．

(3) 姿勢制御

傾斜計の姿勢制御機構は，機械的な限度（3度）を超えてパルスモータを駆動すると破損する恐れがあるため，センサーメーカはユーザが独自にこの機能を利用することは想定していない．メーカに保守させるためにも，設置時からの制御履歴を管理する必要がある．孔芯傾斜は一般に傾斜計の計測範囲（±2

表 2-4　真方位計の測定値による傾斜の初期値

	β N[deg]E	δ [deg]	γ [deg]	N-up [deg]	E-up [deg]
アトサヌプリ跡佐登	295.4	0.70	−2.98	3.0	0.7
雌阿寒岳飽別川上流	258.1	1.16	−0.81	0.6	−1.3
十勝岳望岳台	354.3	0.42	−0.26	0.4	0.2
十勝岳翁温泉	64.2	0.40	−0.40	−0.2	0.5
樽前山南西山麓	179.1	−0.90	−1.02	0.9	−1.0
倶多楽上登別温泉	305.5	0.00	−0.10	0.1	0.1
有珠山昭和新山南麓	228.6	0.10	−1.54	1.1	−1.1
北海道駒ヶ岳梨の木沢	321.9	0.16	−0.38	0.4	0.2
恵山柏野	108.5	0.92	0.23	−0.1	0.9
岩木山松代町白沢	252.9	0.48	1.01	−1.1	−0.2
秋田焼山ぶな沢	222.7	0.18	−0.50	0.2	−0.5
岩手山馬返し	81.4	0.21	−0.01	0.0	0.2
秋田駒ケ岳八合目駐車場	148.2	−0.82	−0.22	0.6	−0.6
鳥海山観音森	58.3	−0.13	0.92	0.7	−0.6
栗駒山沼倉耕英	104.1	0.17	0.70	0.6	0.3
蔵王山坊平	80.5	0.54	−0.35	−0.3	0.6
吾妻山浄土平	311.7	0.52	0.74	−0.2	−0.9
安達太良山沼尻山甲	1.0	−1.24	−0.09	−1.2	0.1
磐梯山裏磐梯高原	183.7	−0.43	0.82	0.4	0.8
那須岳板室沼ツ原	67.4	0.05	−0.77	−0.7	0.3
日光白根山湯元五色沢	335.5	−0.51	−0.13	−0.4	0.3
草津白根山青葉山西	239.4	1.28	0.87	−1.4	−0.7
浅間山塩野山	263.6	−0.19	−0.09	0.1	0.2
新潟焼山大平カラサワ	226.1	−0.81	−2.47	2.3	−1.1
焼岳奥飛騨中尾	279.7	0.21	0.42	−0.4	−0.3
乗鞍岳安曇三本滝	328.5	−1.61	0.30	−1.5	0.6
御嶽山田の原	158.5	0.41	−0.41	−0.5	−0.2
富士山太郎坊	213.6	−0.06	0.21	−0.1	0.2
箱根山二ノ平	200.9	−0.21	1.09	−0.2	1.1
伊豆東部火山群松原猪山	119.7	−0.54	0.19	0.4	−0.4
伊豆大島北の山	223.1	2.14	−1.24	−0.7	−2.4
伊豆大島泉津伊東無	107.3	0.43	0.98	0.8	0.7
伊豆大島二子山北西	278.8	−0.09	0.12	−0.1	0.1
新島瀬戸山南	239.6	−0.39	−0.49	0.6	0.1
神津島天上山西	184.0	−0.21	−0.70	0.3	−0.7
三宅島雄山南西	289.9	0.35	−1.22	1.3	0.1
八丈島西山南東山麓	98.5	−0.20	−0.07	0.0	−0.2
青ヶ島松山ヶ平	128.7	−0.69	−0.88	−0.3	−1.1
九重山星生山北山腹	188.5	1.07	0.36	−1.1	0.2
阿蘇山古坊中	289.8	0.03	0.58	−0.5	−0.2
雲仙岳国見岳北山腹	18.0	−1.44	0.69	−1.2	−1.1
霧島山高千穂河原	94.3	0.58	0.65	0.6	0.6
桜島黒神瀬戸	359.5	0.34	−1.12	0.3	1.1
桜島横山	353.1	−0.79	−0.12	−0.8	0.2
桜島二俣あみだ川	148.9	1.30	1.06	−0.6	1.6
口永良部島新岳北東山麓	284.7	1.33	0.94	−0.6	−1.5
諏訪之瀬島ナベタオ	97.3	−0.91	1.03	1.1	−0.8

孔底の設置ケースのキーに真方位計（ジャイロ）のキー溝が結合した状態で，以下の角度（度）が測定されている．

β：キー方位…北から時計回りのキーの方位角

δ：ピッチ角…キー方向 UP の傾斜量

γ：ロール角…キーから反時計回り 90 度方向 UP の傾斜量．

δ, γによる傾斜の絶対値は，別途測定された設置ケースの孔芯傾斜に概ね等しい．またこれらはいずれも小さいことから，近似的にキー方向基準の座標による孔芯傾斜の UP ベクトル（δ, γ）とみなせる．傾斜計設置時の傾斜初期値（E-up, N-up）は，次式で求められる（座標の反時計回り β–90 度回転）.

（$\delta \sin\beta - \gamma \cos\beta$， $\delta \cos\beta + \gamma \sin\beta$）

mrad≒±0.1°）を超えているため，設置工事では初期の姿勢制御量を把握できないが，キー方位の真方位計（ジャイロ）による測定時に得られたデータ（キー方位，ピッチ角，ロール角）を用いて孔芯傾斜のベクトルを求めることが可能なことから，その値を成分ごとの初期値とする（表2-4）．以降はこの成分ごとの初期値に，姿勢制御で除去した傾斜量（出力モニタの電圧変化から換算）を加算していく．

加速度計は，姿勢の中立位置（フィードバック電流がゼロ）を中心に，±2 mrad の傾斜範囲を ±10 V で出力する．電圧は前面の出力モニタ（アナログメータ）に表示され，中央（ゼロ）が，姿勢の中立位置を示す．メータには，地上制御部のローパスフィルタを通す前と後の切り替え（DIRECT／FILTER）スイッチがあり，姿勢制御する場合は時間遅れがないように，DIRECT で監視する．

姿勢制御は，成分を設定してパルスモータを正または逆方向に（NOR/RET），速くあるいは遅く（FAST/SLOW）駆動して行う．パルスモータの駆動において，駆動時間と姿勢変化の量的な関係は必ずしも線形ではないことに留意する必要がある．また姿勢制御の機能は成分ごとでも振り子は1つなので，制御することで他の成分にも影響が表れる場合があるため，制御する成分を交互に切り替えながら，最終的な中立位置に調整する．

(4) 短周期側（30 秒以下）の特性

傾斜計による地殻変動監視で，分値や時間値に現れる変化は，傾斜変動そのものと考えて良い．しかし急な変動を秒値で見る場合は，傾斜計の短周期側の特性，具体的には変位への応答に留意する必要がある（小久保，2013）．

この傾斜計の観測帯域（加速度に平坦な帯域）は，地上部のローパスフィルタ（カットオフ30秒，バタワース2次）により30秒以上である．それより短周期側の減衰（–12dB/oct）は2階積分と同等の特性で，加速度計出力は変位に平坦に変換され（図2-13，傾きゼロのグラフが加速度に平坦, 傾き2のグラフが変位に平坦），変位応答に着目すると，この特性はハイパスフィルタ（カットオフ30秒，バタワース2次）である．

実際の地殻変動は傾斜と同時に変位も生じ，30秒以下の周期成分を含む急な（以下，単に急な）変動

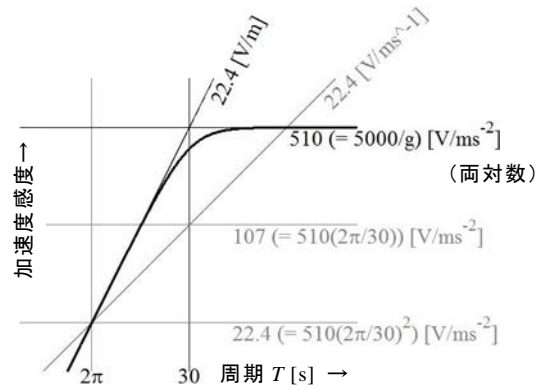



図 2-13　傾斜計 JTS-3 の短周期側の振幅特性

加速度計＋LPF（バタワース 2 次，T_c=30[s]）の振幅周期特性のグラフ（両対数）. 折れ点 30[s]を境に，右（長周期）側は傾き 0，左（短周期）側は傾き 2 に漸近する．それぞれの接線が加速度と変位に対する平坦な特性で，加速度，速度，および変位に対する感度[V/単位]は，T=2π[s]を介して相互に関連する．

に対するこの傾斜計の記録は，傾斜のローパスフィルタ記録に，変位のハイパスフィルタ記録が重なる（両フィルタのカットオフ周期が30秒）. 変位応答が見かけの傾斜変動として重なる極性は，傾斜と加速度の関係により（図2-10），変位方向が傾斜の上がり方向に一致する．またその大きさは，傾斜計の感度(=5000V/rad)と変位応答の感度の関係で得られる．
周期 T が30秒より短い帯域で変位応答の電圧感度は，

$$(5000/g)[V/ms^{-2}]/(30[s]/2\pi)^2 = 22.4\ [V/m] \quad (T<<30s)$$

であり，元の変位が見かけの傾斜変動として現れる変換は，この値と傾斜計感度の比で，

$$4.48\times10^{-3}\ [rad/m] \qquad (T<<30s)$$

と求められる．

例えば，山川・茂木モデルの急な膨張の立上りでは，この傾斜計による記録は，膨張源方向上がりの傾斜変動に対するローパスフィルタの時間遅れの応答に，膨張源から遠ざかる変位に対するハイパスフィルタの即時的な応答が重なる．即ち，このモデルで急な変動が生じると，実際の傾斜変動に対して，見かけの初動は逆の極性で現れ，その振幅は立上りの急峻さに依存するが，最大となるステップ状の変動においては，本来の傾斜の数倍以上になる．

見方を変えると，この傾斜計の変位応答のハイパス特性は，固有周期30秒，減衰定数 h = 0.707 の変位地震計と同等であり（図2-13に $(2\pi/T)^2$ を掛けて，

加速度応答を変位応答に変換すると，図2-8の h = 0.707と相似），上記の 22.4 V/m がその電圧感度に相当する．従って，傾斜計の秒値記録で，30秒より十分短い帯域で現れる見かけの[rad]単位での変化量に，上記の比の逆数 223 m/rad を掛けると，[m]単位の変位記録として読める．例えば，連続的な周期数秒の震動が，見かけの振幅 0.01 μrad で現れた時，それは地震計記録の解釈と同様に，傾斜というより主として振幅2 μm の変位記録と考えて良い．観測地点によって，火山活動と無関係にこのような連続的な震動が頻繁に現れることがあり，それは地震計に記録されるいわゆる脈動と同じ震動の変位記録である．

2.6.3　地中温度計

地中温度計（水晶温度計）は，水晶振動子の固有周波数が温度の影響で変化することを原理として用い，温度センサーに地上の復調器から DC 電源を供給し，センサー出力の周波数から，復調器内の信号処理器で温度に「復調」する．その演算（基準周波数との差 f の3次式，$T = \mathrm{A}f^3 + \mathrm{B}f^2 + \mathrm{C}f + \mathrm{D}$）に使用するパラメータ A～D の値（センサー係数）が，初期値として CPU の ROM に書き込まれている（今回整備は A=0で2次式）．センサー係数は各センサーで固有で，工場での試験で決定される（センサーの試験成績書に記載）．0.001度単位の温度に復調されたデータは，シリアル端子からテレメータに出力される．出力ディジタルフィルタの時定数の初期値は180秒（パラメータ1800）である．

復調器でこの演算を行う「CPU カード（最右端）」の前面に，「デジスイッチ」（ロータリスイッチ）があり，その番号でテンキーによる設定のモードと起動時の動作を制御する（詳細は取扱説明書）．上記のパラメータの出荷時の初期値は ROM にあり，通常の運用はその ROM の値を用いることが想定されているが，必要に応じユーザはデジスイッチとテンキーでその値を変更して RAM（バッテリーバックアップ）に書き込むことができる．たとえば復調器が故障し急きょ代替機と交換する場合は，センサー係数を地中部のパラメータに合わせて設定する．また傾斜計の温度応答を解析する場合は，時定数をゼロにするのが望ましい．ただしデジスイッチが 4 の場合は，再起動（停電復電）時に各種パラメータは ROM の初期値から読み込まれて RAM はクリアされる．また 4 以外の場合は RAM から読まれるが，停電が2週間以上続くと RAM の値は保持されないためその後に復電しても正常な復調ができなくなる．設定に当たりこれらの条件に留意する必要がある．

なお，地下100mでこの分解能を超えて日周変化が観測されることはない．設置直後は，定常状態で落ち着くまでの間はドリフトが表れる．

文献

小久保一哉(2013): 火山の短周期成分を含む地殻変動モデルに対する傾斜計の応答，験震時報，**77**，1-14.

3　GPS 観測装置*

気象庁では 2000 年の有珠山, 三宅島の噴火活動活発化を契機に，監視能力向上を目的として国内の活動的な 20 火山に対して GPS 観測点網を整備し，地殻変動の観点からの火山監視を地震，遠望等他の観測種目と合わせ行ってきた．設置機器は 2 周波センサー1 機，1 周波センサー2 機の連続観測点を基本構成とした．解析体制としては，山体を囲んだ 1 周波基線解析を各々の火山センターに設置した解析 PC で実施し，調査観測として 1 周波センサーによる繰り返し観測をスポット的に行い，連続観測の基線間の詳細を補完するというものであった．しかしながら，その解析値は様々なノイズ要因を残したまま監視に供されており，火山監視を行う上で十分なものとはいえなかった. その後 10 年近くの時間が経過し，火山防災に係わる要望・責務も高まる中，監視体制の拡充を行うこととなった．対象を 44 火山に増加，51 観測点（表 3−1）に対して高精度 2 周波センサーの新設及び既設点の更新を実施し，それとともに，技術向上により高度化された基線解析処理を導入することで，解析精度の向上を行うこととした．これにより気象庁が保持する連続観測点は 1 周波:50 点，2 周波：65 点（廃止予定除く)，それに国土地理院，北海道立地質研究所，産業技術総合研究所

表 3−1　更新 GPS 観測点一覧

火山名	新設	更新	火山名	新設	更新
アトサヌプリ	1		焼岳	2	
雌阿寒岳		1	乗鞍岳	1	
十勝岳	1	2	御嶽山		1
樽前山	1		富士山	1	
倶多楽	1		箱根山	1	
有珠山		1	伊豆東部火山群		1
北海道駒ケ岳		1	伊豆大島		3
恵山	1		新島	1	
岩木山	1		神津島	1	
秋田焼山	1		三宅島		1
岩手山	1		八丈島	1	
秋田駒ケ岳	1		青ヶ島	1	
鳥海山	1		鶴見･伽藍岳	1	
蔵王山	1		九重山	1	
吾妻山		1	阿蘇山	1	
安達太良山		1	雲仙岳		1
磐梯山	1		霧島山	1	
那須岳	1		桜島		3
日光白根山	1		薩摩硫黄島	1	
草津白根山	1		口永良部島	1	
浅間山		1	諏訪之瀬島	1	
新潟焼山	2		合計	33	18

等の他機関の協力により提供された観測データを交えて解析を実施することで，より高精度な監視体制が構築されることとなった.

3.1　GPS 観測装置の構成

今回新たに整備した GPS 観測装置の機器構成は，観測点側の GPS センサー部, 通信処理部及び電源部，中枢側のデータ受信装置，補正解析装置及びデータ保存装置からなる.

以下に各々の機器構成及び機能概要を示す.

3.1.1　GPS 観測点

GPS 観測点に設置した受信装置にて，GPS 衛星より伝送される搬送波を受信し，それより作成したデータファイルを移動電話回線を用いた IP-VPN 網を介して，中枢の解析装置からの指令に基づき伝送を行う.

1）GPS 受信装置

本整備では GPS 受信機, アンテナの組み合わせとして以下の機器を導入した.

受信機：Trimble 社 NetRS（消費電力：4.0W）

アンテナ：Zephyr GPS antenna（TRM39105.00）を採用．観測精度を保つため仰角 15°以下の GPS 衛星は対象から排除，サンプリング間隔 30sec で 1 時間毎に 1 ファイルという設定で Trimble 社の RAW 形式にてファイル作成し，NetRS 内にサイクリックに保存している(内蔵メモリーにより 10 カ月程度保持可).

NetRS はウェブブラウザによる遠隔操作機能を有しており，東京・福岡の中枢装置から動作状況の確認，観測スケジュールやネットワーク等各種設定の確認・変更を実施する事が可能となっている.

2）通信装置

通信装置の構成は，観測点の通信状況により以下の 2 種類の形態をとる.

○FOMA 通信可能域
　iND 通信制御装置　L2F Assist
　消費電力(AVE)：約 1.5W

* 近澤 心

○FOMA 通信可能域外
NTT docomo 衛星携帯　ワイドスターⅡ
消費電力(通信/待機)：約 13/ 1W
NTT docomo FAX Adapter
消費電力(AVE)：約 7W

いずれの構成の場合も，NTT docomo 社の提供するビジネス mopera アクセスプレミアム FOMA サービスによる IP−VPN 網を介して，専用回線にて気象庁本庁，福岡管区気象台と結ばれるものであり，TCP/IP プロトコルによりデータ通信が行われる．

3）**電源部**

通信装置と同様に，観測点の環境に応じて以下の2 形態をとる．

○商用電力

商用電力により，安定した電力供給が行われるため独自の電源装置は必要としないが，停電時の補償機能として無停電電源装置（UPS）を備える．ただし，想定しているのはあくまでも一時的な停電に対しての対応であり,蓄電池の容量は2.5Ah,動作時間は数時間程度の構成となっている．

○太陽光発電

商用電力の供給が得られない（火山観測という目的上，そのような観測点はままある）観測点については，太陽電池を用いての電力の蓄電，供給を行う．

発電力は装備した蓄電池に対して標準日照で 7日以内に 90%以上充電がなされ，蓄電容量は，無給電状態で観測装置に必要な電力を 10 日間動作可能という想定で構築されており，その構成は以下のとおりとなっている．
太陽電池パネル：55W×2（110W）
蓄電池：108Ah×3（324Ah）

※太陽光発電で衛星携帯利用の観測点（焼岳，口永良部の計 2 点）については，消費電力低減のために通信機器にタイマー回路を入れて 3 時間に 1回（20 分間）の起動としている．

3.1.2　中枢処理装置

GPS データ解析の中枢処理装置として気象庁本庁,福岡管区気象台に同一構成の処理装置を設置，同時運用体制をとることで災害，障害時における事業継続性を確保しており，GPS データおよび関連データの取得，それらを用いての基線解析処理をスケジュールに則って 24 時間稼働で実施している. 作成された解析結果は保存装置に置かれると共に，火山監視・情報センターシステム（以下 VOIS）に転送し，モニタリングする事で火山活動監視に用いられるものである．

関連する機器は一つのラック内に収納されており,各々の機器の操作はコンソールスイッチによって共有したキーボード／モニタにて行う．

以下に，中枢処理装置を構成する機器の概要を示す．

1）**データ受信装置**

データ受信装置は 2 台の Linux サーバーによる主・副構成となっている．主系の異常を検知した場合（ping の応答有無にて監視）自動的に副系に切り替わり，業務を継続するとともに，登録されたメールアドレスに対して異常を知らせるメールを送信し,担当職員に対して注意喚起を行う．

機器スペックは以下のとおり．

○データ受信サーバ
形式：HP ProLiant DL360 G6
CPU：Intel Xeon X5520 2.27GHz
メモリ：4GB
HDD：300GB x 3
(RAID1 構成， 1 台はホットスペア)
OS：RedHat Enterprise Linux Server release 5.4
消費電力(MAX)：約 327W

○ルータ（主，予備各 1）
形式：Cisco Systems 1812J
消費電力(MAX)：50W

受信装置には本整備の GPS データ, 既設観測点の GPS データと共に，解析処理に用いるために国土地理院の電子基準点データ，GPS 衛星軌道情報等を図3-1 に示すような経路で取得，一時保存している．

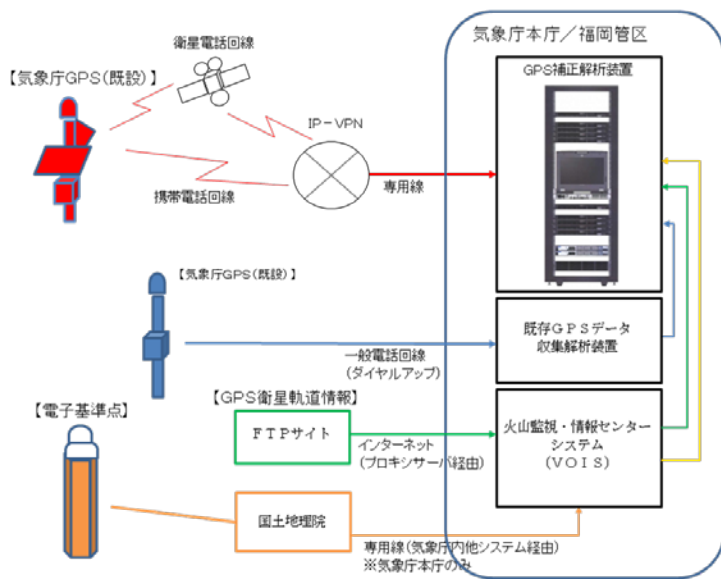



図 3-1　GPS 関連データの経路

2）データ補正解析装置

定常解析処理，準リアルタイム解析処理の 2 とおりの解析処理を実施しており，それぞれ管理装置 1 台，解析装置 4 台の 5 台の Linux サーバで構成されている．

どちらの解析処理も，管理装置にてデータ受信装置に格納された GPS データを取得，4 台の解析装置に対して補正解析処理を分散・並列処理を行うためのスケジュールを管理，解析結果をデータ保存装置に転送しデータベース管理を行う（それぞれの補正解析処理の内容については 3.3 項に記述）．

管理装置では各解析装置の動作，処理状況を監視・把握しており，解析処理に不具合があった場合等，受信装置同様に登録されたメールアドレスに対して異常を知らせるメールを送信し，担当職員に対して注意喚起を行う．各解析装置は同一の構造となっており，ある解析装置が障害となった場合，他の解析装置にて処理を補う事が可能である（定常解析，準リアル解析間での補完は不可．また，管理装置については 1 機構成のため，障害時には他中枢の解析結果にて障害期間の解析結果をリカバリーする事となる）．

データ補正解析装置を構成する機器スペックは以下のとおり．（定常，準リアルタイムとも同一）

○解析管理サーバ

形式：HP ProLiant DL360 G6
CPU：Intel Xeon X5520 2.27GHz
メモリ：4GB
HDD：SAS 146GB x 3
　(RAID1，1 台はホットスペア)
OS：
（定常解析管理装置）
　RedHat Enterprise Linux ES release 4
（準リアル解析管理装置）
　RedHat Enterprise Linux Server release 5.4
消費電力(MAX)：約 327W

○解析処理装置（4 台）

形式：HP ProLiant DL360 G6
CPU：Intel Xeon X5520 2.27GHz
メモリ：4GB
HDD：SAS 146GB x 3
　(RAID1，1 台はホットスペア)
OS：
（定常解析処理装置）
　RedHat Enterprise Linux ES release 4
（準リアル解析処理装置）
　RedHat Enterprise Linux Server release 5.4
消費電力(MAX)：約 327W

○L2 スイッチ（3 台）

形式：HP ProCurve Switch 2510G-24
消費電力(MAX)：約 48W

3）データ保存装置

データ保存装置は，解析装置で処理された結果を蓄積するためのものであり，450 点分の観測点データ，350 基線分の基線データおよび解析結果データを 5 年間にわたって蓄積することが可能なストレージ容量で設計されている．

各解析装置機器との間は，2 機の L2 スイッチで 2 系統に接続されており，スイッチあるいは各機器のネットワーク障害に対応するものとなっている．

機器構成は以下のとおり
形式：HP MSA2000i
HDD：300GB x 9 (RAID5，1 台はホットスペア)
消費電力(MAX)：約 390W

4）コンソール装置

中枢処理装置を構成する機器は，それぞれ固有のヒューマンインターフェースはもたず，コンソールスイッチによってキーボード，モニタを共有している．

使用機器は以下のとおり

モニタ・キーボード：TFT7600

コンソールスイッチ：16P KVM

以上の中枢処理装置内の機器接続状態の模式図は図 3-2 に示すとおりである．

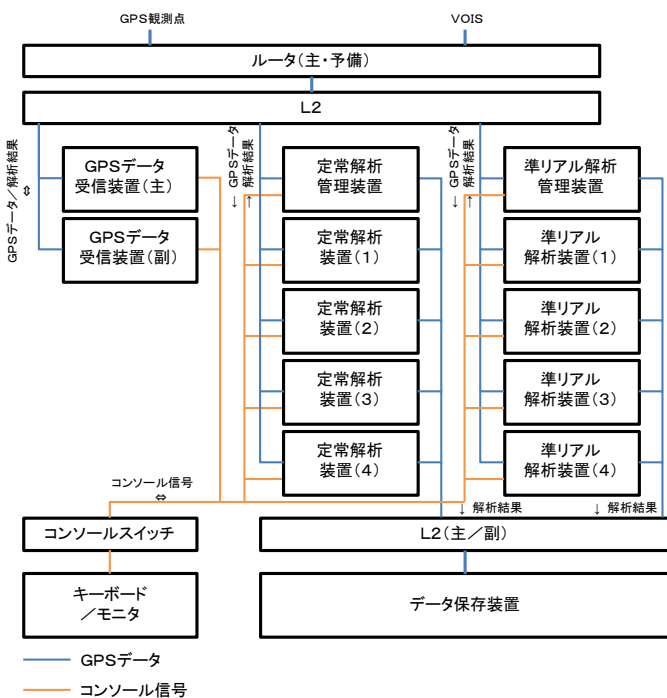



図 3-2　中枢装置内の GPS 処理データの流れ

3.2　データ解析処理

3.2.1　データ受信処理

主たる機能は，データ補正解析装置で用いるための各種データを取得，保存しておくもので，各々のデータは以下の様に処理される．

①本整備設置 GPS 観測点データ

FTP を用いて観測点データの取得を OS の cron 機能を用いて定期的（1 時間毎）に実施，得られるデータは Trimble 社独自のフォーマットデータであるため，RINEX(The Receiver Independent Exchange Format Version2.1)形式に変換，所定のフォルダ構造下に保存する．

また，データの取得処理の状況，取得リストについては WEB ブラウザにて表示，確認する事が可能である．

②既設 GPS 観測点データ

既設の気象庁 GPS については，別途収集装置によりダイヤルアップにて取得（3 時間毎）され RINEX 形式に保存しており，そのデータを FTP にて取得，所定のフォルダ構造下に保存する．

③国土地理院電子基準点データ

国土地理院・気象庁間の専用線を通じて VOIS に一時保存されている電子基準点の提供データ(CompactRINEX 形式)を cron により定期的（1 時間毎）に取得，所定フォルダ構造下に保存をする．

④GPS 衛星軌道情報

基線解析処理を行うために，GPS 衛星軌道情報の取得を行う．後述するとおり，解析処理は 6 時間前のデータに対して 3 時間おきに実施するため，最速で提供される IGS 超速報歴（IGU 歴）を，Internet を通じて FTP サイトより入手する．

3.2.2　定常解析処理

定常解析処理は，スイスのベルン大学で開発された解析ソフトウェア“Bernese/BPE (version 5.0)”を用いて，各種誤差要因（衛星・受信機の時計誤差，電離層，大気水蒸気による伝搬遅延，アンテナ位相特性，マルチパス等）の影響を除去し，各観測点の位置情報や指定した基線の相対距離（緯度・経度・高さの各方向及びこれらの合成による斜距離）を算出するものである．

解析処理は，定常解析管理装置において動作する管理ツール“NewGARD”を用いてスケジュール管理されている．各火山ネット（火山周辺の観測点グループ）毎に用意した解析設定（ストラテジー）に基づき，3 時間毎，24 時間毎の 2 種類のセッション時間について，4 機の定常解析装置に分散して解析を実施する．本整備による GPS 受信機は 2 周波型のみであるが，先述したように旧来の観測点には 1 周波の受信機も存在することから，1 周波のみまたは 1, 2 周波混在するネットと，2 周波観測点のみのネット

があり，各々異なる解析手法を用いる．伝搬遅延を引き起こす要因の電離層の影響は，周波数依存性を持つことから，2 周波のみで構成されるネットについては 2 周波解析処理を実施する．1，2 周波が混在するネットについては，まず周辺の国土地理院電子基準点データを用いて電離層モデルを推定，それを用いて全観測点を 1 周波としての補正解析処理を行う（解析設定は表 3-2 の 4 種類で運用）．

表 3-2　定常解析設定リスト

ID	解析手法	解析対象/起動時	使用歴
J2	補正 1 周波解析	前日 24 時間(UTC)/毎日 07UTC 起動	IGS 超速報歴
J3	2 周波解析	前日 24 時間(UTC)/毎日 07UTC 起動	IGS 超速報歴
A2	補正 1 周波解析	前 3-6 時の 3 時間/3 時間毎	IGS 超速報歴
A3	2 周波解析	前 3-6 時の 3 時間/3 時間毎	IGS 超速報歴

得られた結果はデータ保存装置に保存するとともに，設置中枢それぞれの VOIS へ，指定基線の基線長，比高，観測点座標を決められたフォーマット（地殻メールフォーマット）にて FTP 転送する．解析処理に不具合があった場合にはアラート情報を指定アドレスに対してメール報知する機能を有する．

3.2.3　準リアルタイム解析処理

GPS リアルタイム解析ソフトウェア“RTNet“を用いて，定常解析同様に GPS 搬送波データにより基線解析を行い，指定した基線の相対距離および座標を求めるものである．先述の定常解析処理は，一定時間分の蓄積データに対して解析処理を行うために，結果を得るにはある程度の時間を要する．それに対し準リアルタイム解析処理では，観測エポック（観測頻度）毎に解を得るものであることから，より迅速に火山監視に利用することができる．しかしながら，観測期間や使用する衛星軌道情報は解析精度に重要な要素であり，このことは，迅速であることに反比例して解析精度が下がることを意味する．RTNet は与えられたデータを逐次解析するほぼリアルタイムの処理であるが，本整備では観測点からの GPS 観測データ取得は通常 1 時間に 1 回であり，また既設の GPS 観測装置は取得スケジュールにより数時間遅れでのデータ取得となっていることから，解析にディレイを設け，待ち時間の間に蓄積されたデータを逐次後処理解析を行ういわゆる”準”リアルタイム処理となっている．

解析に用いる火山（クラスター），解析キャンペーン（対象データ期間や実施する解析手法），遅延時間の設定，確認，解析結果の表示等は準リアルタイム解析管理装置の管理用 WEB アプリケーション”NRT Web Manager”にて行われる．その管理の元，登録されたクラスターにわけて 4 機の解析装置で分散・並列して解析処理を行う．解析に用いる観測点はこれまで述べたように 1 周波，2 周波があり，火山毎にその組み合わせ構成は異なる．そのため，解析キャンペーンに合わせ表 3-3 に示す解析手法を設定し解析を実施する．このうち，LIM については，L1LIM 解析にて補正解析を実施するために用いる電離層マップファイルを作成するためのものであり，監視に用いるデータの出力としては 1, 2 周波混在の場合は L1LIM，2 周波のみのキャンペーンは L2 にて解析実施している．

表 3-3　準リアルタイム解析タイプリスト

ID	解析手法	解析対象/起動遅延	使用歴
L1	1 周波解析	1 時間観測/9 時間遅延	IGS 超速報暦
L1LIM	補正 1 周波解析	1 時間観測/9 時間遅延	IGS 超速報暦
L2	2 周波解析	1 時間観測/9 時間遅延	IGS 超速報暦
LIM	電離層マップファイル作成	1 時間観測/9 時間遅延	IGS 超速報暦

解析後の処理については定常解析同様に，設置中枢それぞれの VOIS へ，指定基線の基線長，比高，観測点座標を決められたフォーマット（地殻メールフォーマット）にて FTP 転送する．解析処理に不具合があった場合にはアラート情報を指定アドレスに対してメール報知する機能を有する．

3.3　解析結果事例

補正解析結果の一例として，伊豆大島の 2010 年11月～2011年11月の基線解析結果を図3-3に示す．

図中上線（青）が補正解析，下線（紫）が既存の1 周波解析の結果である．主に電離層遅延に起因する長期的な周期変化については，完全な除去には至らないものの，1 周波解析に比して改善がみられる（本例は 1，2 周波観測点混在の 1 周波補正解析で，電離層補正は周辺の 2 周波観測点による推定値による）．また解析値の短周期のノイズ（線の太さ）は，主に対流圏中の水蒸気による電波の屈折に起因するもので，補正解析により若干の改善があるが，梅雨等顕著な降水期には大きな変動が残る．これは，補正が気象観測による実測値ではなく理論モデルにより行われているために，過度な擾乱を表現しきれないことによると考えられる．

3.4　今後の展開

現時点での問題の解消，更なる解析の高度化を目指し，以下の項目の対処が必要とされる．

- 残る未更新観測点の 2 周波化（更新計画に則って順次実施予定）．
- 定常解析の衛星軌道情報は超速報歴を利用しているが，解析精度の向上を目的として最終歴を用いた解析設定の追加を実施．
- 準リアルタイム解析については，データ取得に遅延時間があることからリアルタイム性に乏しいが，今後の更新により遅延は現状より改善されることから，より即時的な解析を実施することで，比較的迅速な監視体制を築く事が可能となる．
- 対流圏における水蒸気遅延補正の高度化として現地気象観測または GPV データを用いた気象データによる補正の導入．

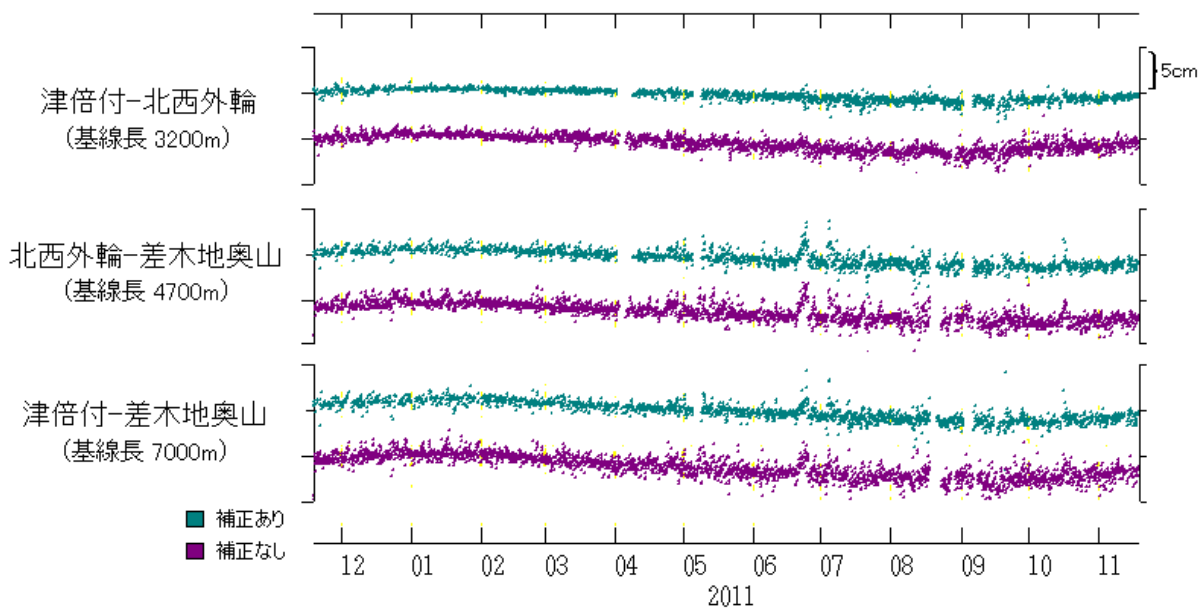



図 3-3　補正解析と 1 周波解析の比較

4　火山遠望観測装置*

4.1　はじめに

火山遠望観測装置の整備は，これまで常時観測火山を対象に整備していた既存のカメラの更新を平成20年度補正予算で実施した．また常時観測対象火山の見直しによりカメラを新規設置する観測点の整備については平成21年度補正予算で実施した（表4-1）．一部の火山に関しては，国土交通省地方整備局，北海道開発局や自治体等がすでにカメラを設置しており，これらに関しては分岐映像を気象庁に取り込むことで，常時監視を行う47火山を対象とした火山遠望観測装置の整備を行うこととした．なお，草津白根山，伊豆大島，霧島山（新燃岳，御鉢），口永良部島に関しては，通常の遠望カメラに加えて，火口カメラの整備を併せて実施している（表4-1）．

表4-1　平成21年度に整備した火山カメラ一覧

	ｱﾄｻﾇﾌﾟﾘ	雌阿寒岳	大雪山	十勝岳	樽前山	倶多楽	有珠山
遠望ｶﾒﾗ	1	1	1	1	1	1	2
火口ｶﾒﾗ							

	北海道駒ヶ岳	恵山	岩木山	秋田焼山	岩手山	鳥海山	栗駒山
遠望ｶﾒﾗ	2	1	1	1	1	1	1
火口ｶﾒﾗ							

	蔵王山	吾妻山	安達太良山	磐梯山	那須岳	日光白根山	草津白根山
遠望ｶﾒﾗ	1	1	1	1	1	1	1
火口ｶﾒﾗ							1

	浅間山	乗鞍岳	御嶽山	白山	富士山	箱根山	伊豆東部火山群
遠望ｶﾒﾗ	2	1	1	1	1	1	1
火口ｶﾒﾗ							

	伊豆大島	新島	神津島	三宅島	八丈島	青ヶ島	九重山
遠望ｶﾒﾗ	1	1	1	3	1	1	1
火口ｶﾒﾗ	1			※1			

	阿蘇山	雲仙岳	霧島山	桜島	薩摩硫黄島	口永良部島	諏訪瀬島
遠望ｶﾒﾗ	1	1	2	2	1	1	2
火口ｶﾒﾗ			2			1	

※三宅島山頂火口に今回更新を行わなかった既存観測点が有り。

既存の火山遠望観測装置では，観測点と監視を担当する札幌・仙台・東京・福岡の各火山監視・情報センター（以下，「火山センター」という.）及び鹿児島地方気象台とを一対一の専用回線で結んでおり，対象とするカメラ映像は一拠点でしか見ることが出来なかった（例外として桜島等一部のカメラは別経路にて画像転送を行い複数拠点で監視が可能だった）．

今回の整備では，観測点と各火山センターをIP-VPNネットワークで接続し，例えば東京管内の映像は本庁に主収録サーバ，福岡に副収録サーバを設置した（表4-2）．これらのサーバの映像はIP-VPNネットワークで接続している各火山センター，鹿児島地方気象台，浅間山・伊豆大島・三宅島・阿蘇山の各火山防災連絡事務所のどの拠点からでも映像を確認することが出来，通常監視を担当している火山センターが被災した場合でも業務を継続できるようになっている．

表4-2　動画収録サーバ設置官署

センター名	主収録ｻｰﾊﾞ設置官署	副収録ｻｰﾊﾞ設置官署
札幌	札幌	仙台
仙台	仙台	札幌
東京	東京	福岡
福岡	福岡	東京

4.2　観測点の構成

通常の遠望観測点（以下，遠望観測点，火口カメラを除く）は，夜間でも，月明かり程度の明るさで監視が可能な超高感度カメラ及び遠隔からリモート操作が可能な制御器，映像送信装置（動画）及びルーター等から構成される（図4-1）．映像送信装置（動画）では，ビデオ信号をH.264形式に高圧縮で変換し，デジタル信号として監視局に映像を送信している．

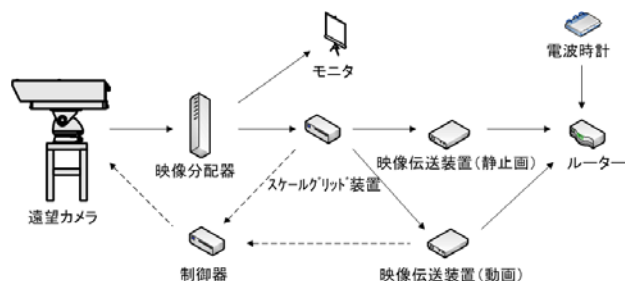



図4-1　観測点の構成

図4-1で示した構成図では，観測点から動画を送信すると共に，静止画を作成して送信する映像送信装置（静止画）が描かれているが，これらは光回線が通じている場所でのみ設置されており，128kbpsの回線しか引かれていない観測点では回線資源の制約から，監視局で動画を受信し，その動画をもとに静止画を作成しているため，観測点ではなく監視局に設置されている．

これらの観測装置はUPSを介して商用電源から

* 重野伸昭（現：文部科学省），森 博一（現：福岡管区気象台）

給電されているが，UPS は出力コンセント単位で再起動等が可能であり，機器の初期化等を各火山センターから遠隔で実施することができる．

また，火口カメラ設置観測点では，太陽電池パネル及びバッテリーにより電源を供給しているため，消費電力量の制約から超高感度カメラを使用する代わりに通常の可視カメラを使用している．このため，夜間の映像は確認することができない．また UPS も接続していないため，機器の再起動は観測点に行って行う必要がある．有線回線が敷設されていない場合には，無線 LAN を使用するなどインフラには制約があるが，そのほかの機器の構成等は遠望観測点と同等である．

4.3　監視局の構成

観測点から送信されてきたデータが，監視局でどのように流れているかの模式図を図 4-2 に示す．

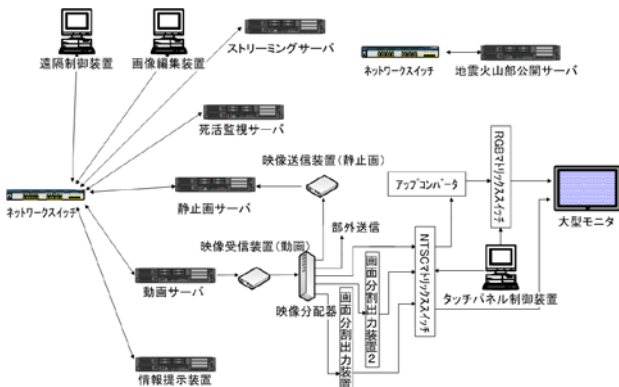



図 4-2　監視局の構成（模式図）

監視局では，リアルタイムで観測点から送信されてくる動画を収録している動画サーバが各火山センターに 1 台ずつ設置されている．動画のビットレート等は回線状況に応じて異なっているが，代表的な 128kbps の観測点では，概ね画像解像度 QVGA，ビットレート 64kbps, フレームレート 2fps 程度としている．また，動画サーバは，地点冗長性を考慮して他の火山センターにバックアップ用の動画サーバを設置している．動画サーバには各火山センターが監視している火山の動画を 30 日分収録している．また，動画サーバでは観測点でデジタル化された信号をアナログに再変換する映像受信装置（動画）を制御しており，これらのアナログ信号がリアルタイムで火山の監視を行うための大型モニタ等へ接続されている．

リアルタイムでの映像の監視や，特定の短時間の噴火活動の推移確認などは，動画で確認するのが全体像を把握する上で効率的だが，ある程度の期間を数分程度の間隔で連続的に遡って確認するなどの作業には，静止画を用いるのが効果的である．このための静止画サーバを本庁及び福岡に 1 台ずつ設置している．静止画サーバでは観測点あるいは監視局の映像送信装置（静止画）で作成される 2 秒毎のデータを取得しに行き，全国分の静止画データを 10 日間保存している．

ネットワークに接続している機器の死活監視を行う死活監視サーバも本庁及び福岡に 1 台ずつ配置している．これらは定期的に疎通確認を行い機器の障害に早期に対応できるようにアラーム報知を行っている．

また，機器の設定情報を管理し，地震火山部 WEB 公開サーバに公開する観測点や画像を保存する枚数等をパラメータとして渡すための機能として情報提示装置を各火山センターに 1 台ずつ設置している．情報提示装置では，噴火や火映等が生じた際の動画や静止画をイベント映像としてライブラリ登録し，火山遠望観測装置の IP-VPN ネットワークに接続している端末からブラウザで閲覧できるようになっている．

そのほか，火山活動が活発化した際に設置される災害対策本部（あるいはそれに準ずるもの）や地方気象台等へ映像を配信することを目的としたストリーミングサーバ，リモートで遠望カメラや火口カメラの制御を行う遠隔制御装置，動画や静止画で遡って映像を確認するための画像編集装置，その他リアルタイムで各火山の映像を確認するための大型モニタ等で構成されている．通常の火山活動の監視では，リアルタイムの映像を火山の活動状況に応じて大型モニタに表示しているが，それらはマトリックススイッチャからのビデオ信号などをタッチパネル制御器により監視担当者が適宜切り替えて表示している．

また，気象庁以外の機関からの分岐映像に関しては，セキュリティを担保するために，外部からのネットワークを経由したデジタルデータをアナログデータに変換している．アナログ化された映像を再度火山遠望観測装置に取り込むことで，気象庁の遠望

カメラと同様に映像を扱えるようにしている.

ここで，動画の収録サーバを例に機器に異常が発生した場合の業務継続に関して簡単に記述する.

通常東京管内の火山データに関しては，本庁の動画サーバに接続して動画ファイルを収録し，併せて福岡のバックアップアサーバにも動画ファイルを作成するように設定している．福岡のバックアップサーバ側では，定期的に東京の動画サーバとの間で疎通確認を行っており，異常を検出すると東京の動画サーバ向けに映像を配信していた観測点にある画像送信装置（動画）に対して，福岡側に送信先を切り替えるようにコマンドを送る．このため，サーバ切り替え時に1分程度の欠測は生じるものの，映像を受信するサーバを端末側で自動的に切り替えることで,業務を継続して実施することができる.ただし，火山遠望観測装置のサーバ群は主副として構成されており，主系から副系への切り替えは自動的に行われるが，副系から主系への切り戻しは手動で実施する必要がある.

4.4 カメラ映像の HP への公開

作成されたカメラ映像の静止画は，遡って映像を確認するなどの監視作業の他に，国民の皆様に火山を身近に感じて頂くことを目的として，気象庁地震火山部の WEB サーバに転送し，公開している．これらは各火山センターで情報提示装置によりパラメータを設定し，観測点単位で保存する枚数や間隔を設定し，静止画及び設定情報を地震火山部の公開サーバに送信している. 公開サーバ上の PHP プログラムでは，これらのパラメータを読み込み，表示設定された観測点を地点として表示する．ユーザーは閲覧したい観測点を選択して直近数十分程度の映像を見ることが出来る.

5　テレメータシステムの整備及び更新*

5.1　概要

気象庁は，平成21年度から平成22年度にかけて「火山監視・情報センターシステム」（Volcano Observation Information System，以降 VOIS という）を更新整備した．VOIS は，それまで全国 4 つの火山監視・情報センターに独立して存在していたが，新たなシステムは，中枢システムを気象庁本庁（以後，東京センターという）と福岡管区気象台火山・監視情報センター（以後，福岡センターという）の 2 箇所に整備し，冗長化による安定的な稼働を図っている．

このため，地震データの伝送方法も，それまでの，専用線を用いて観測点（送信点）と各担当火山監視・情報センター（受信点）を 1 対 1 で結ぶ伝送から，観測点と東京センターと福岡センターの中枢システムを結ぶ 1 対多の伝送に対応する必要が出てきた．このため，データ伝送については，汎用性が高い WAN を用いた IP パケット伝送方式とし，伝送データフォーマットについても，地震関係業務で広く使用されている WIN 形式に対応したテレメータシステムを採用していくこととした．この他，データの分解能についても，24bit まで対応できることとし（従来は 10bit，12bit あるいは 16bit），よりダイナミックレンジが広いデータに対応できるようにした．

平成21年度から平成22年度にかけて新規に整備した火山総合観測装置でも，IP パケット伝送方式に対応したテレメータ装置が採用されている．（第 2 章参照）

さらに平成21年度から平成22年度にかけて，従来からある観測点（地震計，空振計，傾斜計）についても，テレメータ機能を IP パケット伝送方式に対応するための更新整備を実施した．本章では，この更新整備に関して解説する．

5.2　データの伝送方法

データ伝送に用いる WAN として，これまで地震・津波業務で使用されている，NTT コミュニケーションズの高度地震データ伝送サービス「Earth-LAN」を使用している．Earth-LAN では，通常の IP-VPN と同様に Earth-LAN に接続された観測局から中枢局へ IP ネットワークによるデータ伝送が可能である．また，Earth-LAN 内にあるコントロールセンターを介することにより，一つのパケットを複数のホストへ配信することが可能である．コントロールセンターは冗長化のため東京コントロールセンター(以後，東京 CC という）と岐阜コントロールセンター（以後，岐阜 CC という）の 2 箇所がある．更にそれぞれのコントロールセンターはマスタ／スレーブによる冗長構成となっている．

各観測点は，自局のデータパケットを，これらのコントロールセンターに送りこみ，各コントロールセンターは，受信したデータパケットを，東京センター及び福岡センターの火山観測データ収集・配信装置に配信し，VOIS サーバへ渡される．データの流れを図 5-1 に示す．

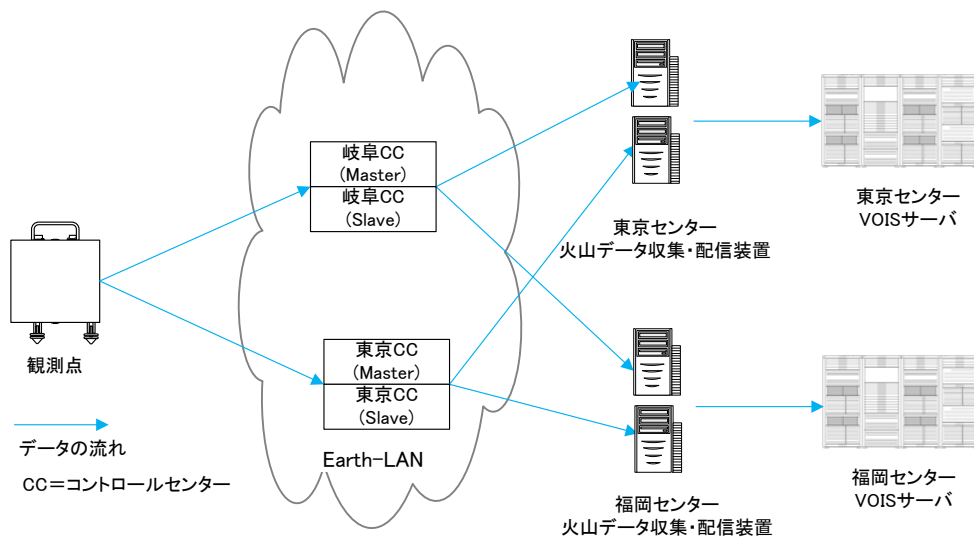



図 5-1　Earth-LAN を利用したデータの流れ

* 森　博一（現：福岡管区気象台）

なお，Earth-LAN を用いたデータ伝送では，東京CCあるいは岐阜CCのいずれかにデータを送出すれば東京センター及び福岡センターの双方のサーバへ伝送することが可能である．また，主要な観測点のデータについては，BCP（Business Continuity Plan：障害時等も業務を継続させるための計画)を考慮し，東京 CC 及び岐阜 CC 双方へ送出している.しかし，火山観測業務で用いる地震計は，山中など辺鄙な場所に整備されている場合が多く，伝送路も無線やアナログ専用線など帯域が狭い場合が多いため，基本的に片方のコントロールセンターへ伝送することとしている．このため，本整備においては，ひとつの火山に整備されている地震計が片方のコントロールセンターに偏らないように伝送先を定めている．

また，安定したデータ伝送のために，観測点から送られてくるデータにパケット抜けが発生した場合には，各コントロールセンターから該当する観測点に対し再送要求が行われる．また，各コントロールセンターはマスタ機との同期のための生存情報パケットを定期的に観測点に発信している．

5.3 観測点及び伝送経路

本整備においては，基本的に従来からの観測点及び伝送経路を踏襲しテレメータの更新を行った．また，経費の制限もあり，一部従来のテレメータ装置を残しつつ,最終的にすべてのデータを IP パケット化して Earth-LAN へ伝送している．

基本的な伝送形態は図 5-2 に示すとおり 5 つのタイプがあり，既存観測点の状況に応じそれぞれのタイプが採用されている．今回整備を行った観測点及びその伝送形態を表 5-1 に示す．

(1) 伝送タイプ 1

観測点にデジタル専用線が引き込める場合で，標準的な構成である．

基本的に，地震計各成分及び空振計はサンプリング周波数 100Hz，分解能 24bit で，傾斜計及び温度データについてはサンプリング周波数 1Hz，分解能 24bit で伝送している．

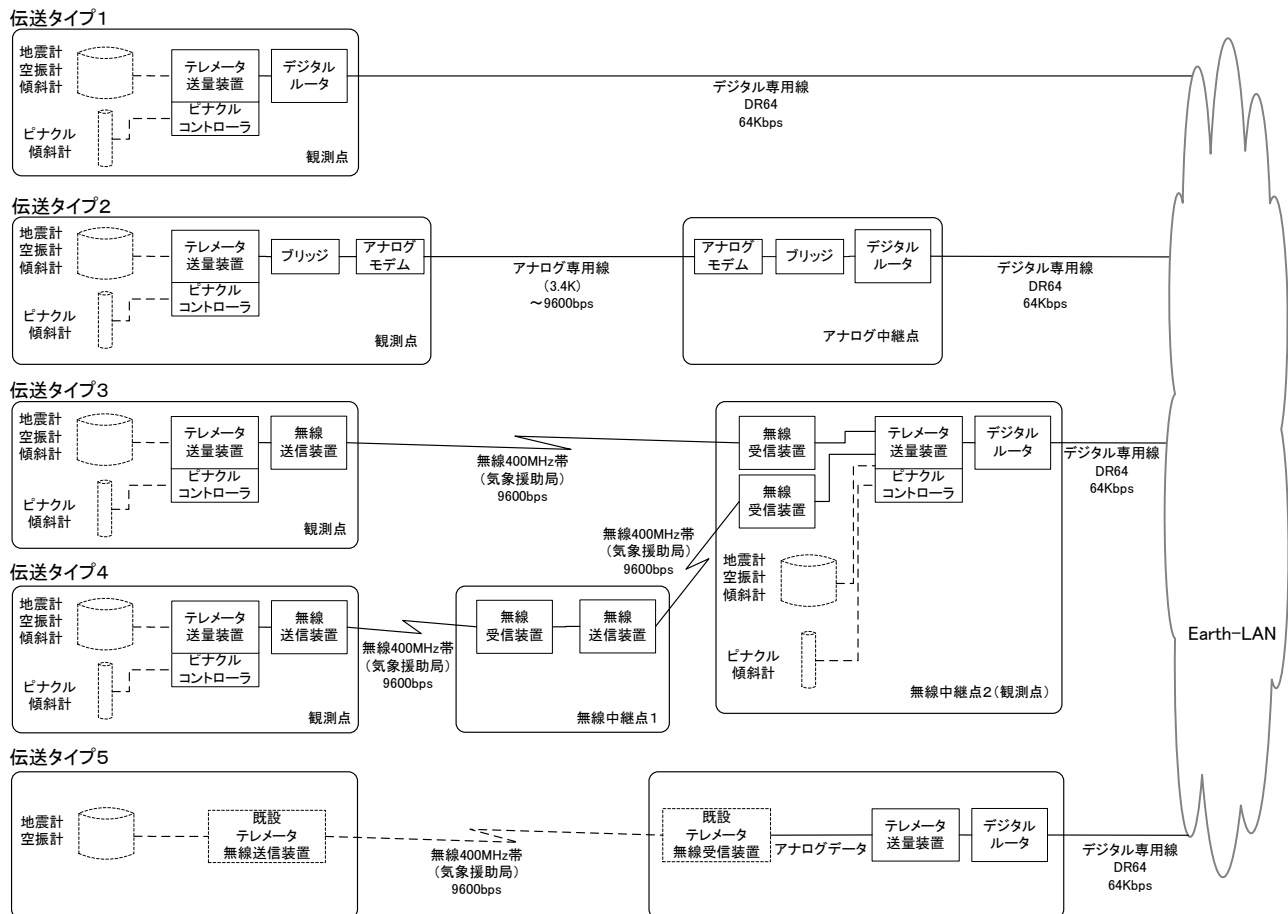



図 5-2 観測点からの伝送形態（破線は既設機器）

表 5-1　今回整備を行った観測点及び関連する伝送方法

火山	観測点		中継点1	中継点2	中継点3	伝送形態（図5-2参照）	伝送方法
アトサヌプリ	（ドーム北）	地震計	後佐登			タイプ1	後佐登までは既存自営線を利用
雌阿寒岳	南岳南西	地震計	上徹別			タイプ3	南岳南西-上徹別間は無線伝送
	雌阿寒温泉登山口	地震計	釧路地方気象台			タイプ2	雌阿寒温泉登山口-釧路地方気象台間はアナログ専用線(3.4K)伝送
	（西山）	地震計	オンネトー南東	釧路地方気象台		タイプ5	西山-オンネトー南西間は既存無線テレメータ装置を利用
	（ポンマチ南西）	地震計	オンネトー南東	釧路地方気象台		タイプ5	西山-オンネトー南西間は既存無線テレメータ装置を利用
	オンネトー南東	空振計	釧路地方気象台			タイプ2	オンネトー南東-釧路地方気象台間は無線伝送
十勝岳	（避難小屋東）	地震計	避難小屋	砂防情報センター		自営線	避難小屋東-避難小屋間は自営線による伝送
	避難小屋	空振計	砂防情報センター			タイプ3	避難小屋-部際情報センター間は無線伝送
	（硫黄沢）	地震計	砂防情報センター			自営線	硫黄沢-防災情報センター間は既存無線テレメータ装置を利用
	砂防情報センター	空振計				タイプ1	
樽前山	（北西外輪）	地震計(1CH)	北山腹	旧A点	苫小牧旭	タイプ5	北西外輪-北山腹間は既存無線テレメータ装置を利用
	（シシャモナイ）	地震計(1CH)	北山腹	旧A点	苫小牧旭	タイプ5	北西外輪-北山腹間は既存無線テレメータ装置を利用
	北山腹	空振計・傾斜計	旧A点	苫小牧旭		タイプ4	北山腹-旧A点-苫小牧旭は2周波を用いた無線伝送であり、旧A点ではテレメータを介せず無線の中継のみを行っている。
	（西外輪）	地震計(2CH)	ヒュッテ南	支笏湖畔		タイプ3	西外輪-ヒュッテ南間は既存自営線による伝送
	（ドーム東）	地震計(1CH)	ヒュッテ南	支笏湖畔		タイプ3	ドーム東-ヒュッテ南間は自営線による伝送
有珠山	（北屏風山）	地震計	虻田泉北			タイプ5	北屏風山-虻田泉北間は既存無線テレメータ装置を利用
	虻田泉北	地震計				タイプ1	
	南山麓	地震計・空振計・傾斜計				タイプ1	
北海道駒ヶ岳	（砂原岳西）	地震計	西山麓	姫川		タイプ5	砂原岳西-西山麓間は既存無線テレメータ装置を利用
	（西山麓）	地震計・空振計	姫川			タイプ3	西山麓-姫川間は無線伝送
	（東円山）	地震計(1CH)	隅田盛	鹿部		タイプ5	東円山—隅田盛間は既存無線テレメータ装置を利用
	墨田盛	地震計	鹿部			タイプ3	隅田盛-鹿部間は無線伝送
	剣ヶ峯東	地震計	鹿部			タイプ3	剣ヶ峯東-鹿部間は無線伝送
	鹿部	空振計				タイプ1	
恵山	（ドーム北）	地震計	測量山			タイプ1	ドーム北-測量山間は既存無線テレメータ装置を利用
吾妻山	吾妻小富士	地震計・空振計	福島松木			タイプ3	吾妻小富士-福島松木間は無線伝送
安達太良山	勢至平	地震計・空振計	福島松木			タイプ3	勢至平-福島松木間は無線伝送
	（塩沢）	地震計	福島松木			タイプ5	塩沢-福島松木間は既存無線テレメータ装置を利用
磐梯山	磐南	地震計・空振計	若松材木			タイプ3	磐南-若松材木間は無線伝送
	長坂	地震計	若松材木			タイプ2	磐南-若松材木間はアナログ専用線（3.4K）伝送
那須岳	高雄	地震計・空振計	宇都宮明保野			タイプ3	高雄-宇都宮明保野間は無線伝送
草津白根山	水釜北東	地震計・空振計	逢ノ峰			タイプ3	水釜北東-逢ノ峰間は無線伝送
浅間山	血の滝	地震計・空振計・傾斜計	追分			タイプ3	血の滝-追分間は無線伝送
	前掛西	地震計	G点中継点	追分		タイプ4	前掛西-G点中継点-追分は1周波を用いた無線伝送であり、G点中継点ではテレメータを介せず無線の中継のみを行っている。
	（六里上）	地震計	（浅間牧場）	追分		タイプ5	六里上-浅間牧場間は既存無線テレメータを、浅間牧場-追分間は既存有線テレメータを利用
	（鬼押上）	傾斜計	鬼押	長野地方気象台		自営線	鬼押上-鬼押間は既存自営線を利用
	鬼押	地震計	長野地方気象台			タイプ2	鬼押-長野地方気象台間はアナログ専用線(3.4K)伝送
	（藤原上）	地震計	藤原	長野地方気象台		自営線	藤原上-藤原間は既存自営線を利用
	藤原	空振計・傾斜計	長野地方気象台			タイプ2	藤原-長野地方気象台間はアナログ専用線（3.4K)伝送
伊豆東部火山群	新井	地震計	大崎			タイプ3	新井-大崎間は無線伝送
	大崎	地震計・空振計・傾斜計				タイプ1	
伊豆大島	三原山北西		北西外輪			タイプ3	三原山北西-北西外輪間は無線伝送
三宅島	山頂火口南	地震計・空振計	雄山南西			タイプ3	山頂火口南-雄山南西間は無線伝送
	雄山北東	地震計	神着			タイプ3	雄山北東-神着間は無線伝送
	神着	空振計				タイプ1	
	（三七山）	空振計	神着			タイプ5	三七山-神着間は既存有線テレメータ装置を利用
	（伊ヶ谷）	空振計	小手倉			タイプ5	伊ヶ谷-小手倉間は既存有線テレメータ装置を利用
	小手倉	地震計				タイプ1	
鶴見岳・伽藍岳	日ノ平	地震計・空振計	別府市鶴見			タイプ2	日ノ平-別府市鶴見間はアナログ専用線（3.4K）伝送
阿蘇山	（中岳西山腹）	地震計	古坊中			自営線	中岳西山腹-古坊中間は既存自営線を利用
	（烏帽子岳北山麓）	地震計	古坊中			自営線	烏帽子岳北山麓-古坊中間は既存自営線を利用
	（火口西駅）	空振計	古坊中			タイプ5	火口西駅-古坊中間は既存無線テレメータ装置を利用
	仙酔峡	地震計・空振計	古坊中			タイプ2	仙酔峡-古坊中間はアナログ専用線(3.4K)伝送
	往生岳南東山麓	地震計				タイプ1	
雲仙岳	（矢岳南西山腹）	地震計	新湯			自営線	矢岳南西山腹-新湯間は既存自営線を利用
	（薊谷）	地震計	新湯			タイプ5	薊谷-新湯間は既存有線テレメータ装置を利用
	鳥甲山北山麓	地震計・傾斜計	新湯			タイプ2	鳥甲山北山麓-新湯間はアナログ専用線(3.4K)伝送
	新湯	地震計				タイプ1	
	唐比北	地震計				タイプ1	
霧島山	（新燃岳南西）	地震計	湯之野	霧島田口中継点		自営線	新燃岳南西-湯之野間は既存自営線を利用
	湯之野	空振計・傾斜計	霧島田口中継点			タイプ2	湯之野-霧島田口中継点間はアナログ専用線（3.4K）伝送
桜島	（赤生原）	地震計	（B点送信所）	東郡元		タイプ5	赤生原-B点送信所間は既存自営線を、B点送信所-東郡元間は既存無線テレメータ装置を利用
	（湯之）	地震計	東郡元			タイプ5	湯之-東郡元間は既存無線テレメータ装置を利用
	東郡元	空振計					
薩摩硫黄島	展望台東	地震計	京大中継点 薩摩硫黄島			タイプ3	展望台東-京大中継点（薩摩硫黄島）間は無線伝送
口永良部島	新岳北西	地震計	京大中継点 口永良部島			タイプ3	新岳北西-京大中継点（口永良部島）間は無線伝送
	新岳西山麓	地震計	京大中継点 口永良部島			タイプ3	新岳西山麓-京大中継点（口永良部島）間は無線伝送
	（野池山）	地震計	京大中継点 口永良部島			タイプ5	野池山-京大中継点（口永良部島）間は既存無線テレメータ装置を利用
	（古岳北）	地震計	京大中継点 口永良部島			タイプ5	古岳北-京大中継点（口永良部島）間は既存無線テレメータ装置を利用
	京大中継点（口永良部島）	空振計				タイプ1	
諏訪之瀬島	（トンガマ南西）	地震計	（榊戸原）	東郡元		タイプ5	トンガマ南西-榊戸原間は既存無線テレメータ装置を、榊戸原-東郡元間は既存有線テレメータ装置を利用

カッコ書きの観測点は，整備は行っていないが関連する観測点

(2) 伝送タイプ 2

観測点にデジタル専用線が引き込めないがアナログ専用線が引き込める場合には，デジタル回線が引き込める中継点を用意し，中継点までアナログ専用線で伝送する．

アナログ専用線を用いる場合は，IP パケットが伝送できるようアナログ専用線の両端にブリッジとアナログモデムを接続する．アナログ専用線であるため，帯域は 9.6kbps と狭く，このため地震計 3 成分と空振計データを一緒に伝送する場合は, 空振計データの分解能を 16bit に落として伝送している．また，伝送チャンネル数が多く 1 本のアナログ専用線で伝送できない場合は，複数のアナログ専用線で伝送する場合もある．（例：雌阿寒岳オンネトー南東観測点）

(3) 伝送タイプ 3

観測点にデジタル専用線もアナログ専用線も引き込めない場合は，送信・受信 1 対の無線機を用いた伝送となる．アナログ専用線と同様に，帯域は 9.6kbps と狭いため，伝送タイプ 2 と同様に空振計データを 16bit 分解能で伝送する場合がある他，伝送チャンネル数が多く 1 対の無線機で伝送できない場合は，複数対の無線機を用いて伝送する場合もある．（例：樽前山北山腹観測点）

なお，受信点では受信機で受けたデータを再びデコードして，IP パケットデータを送出するためにテレメータ送量装置が必要であり，受信点はタイプ 1 の観測点と同じような構成となる．

(4) 伝送タイプ 4

伝送タイプ 3 において，無線電波が届く範囲にデジタル専用線のインフラがない場合には，更に無線中継を行う必要がある．（例：浅間山前掛西観測点）

伝送タイプ 3 と同様に帯域は 9.6kbps と狭いため，空振計の分解能及び伝送チャンネル数の制限がある．

無線から無線への中継においては，シリアルデータによってデータの受け渡しが行われるため，無線受信機から無線送信機へそのままパケットを渡せるが，無線からデジタル専用線に中継する場合は，シリアルデータを WIN パケットにデコードする必要があるため，テレメータ送量装置が必要である．

(5) 伝送タイプ 5

既設の無線あるいは有線テレメータを中継する場合，中継点において既設の無線受信装置のアナログ信号を本整備テレメータに渡すこととなる．このため，中継点で各チャンネルのアドレス割り当てを行い，GPS 時計による時刻情報を付与する．また，既存テレメータで発生する時刻遅延の補正も中継点でおこなう．

なお，中継点以降の本整備テレメータの伝送タイプについては，表 5-1 に示すとおり，前述の伝送タイプ 1 から伝送タイプ 4 までさまざまなタイプがある．

5.4 本整備の構成機器

本整備における機器の構成は以下に示すとおりである（火山データ転送装置については後述）．

各機器の接続図を図 5-3 に示す．なお，データの伝送方法の違いにより，使用する機器も異なってくる．

なお，以下に示す機器がすべての観測点に整備されているわけではなく，各観測点の状況に応じて整備されている．

(1) テレメータ送量装置

① テレメータユニット

- HAKUSAN 製 TS14709.
- ロガーユニット，HPF/CAL ユニット，ピナクルコントローラの制御を行う．
- 時刻校正機能を有し，GPS モードでは GPS 時計により，NTP モードでは指定された NTP サーバより時刻校正を行い，ロガーユニット及びピナクルコントローラのシステムクロックを同期させる．
- ロガーユニット，ピナクルコントローラから WIN パケットを受信し, 指定チャンネルについて遅延補正（0.01 秒～0.99 秒）を行う．
- 受信した WIN パケットから WIN ファイルを生成し CF カードへ保存し, 2 箇所までのホストへ送出可能である．
- 装置の設定及び動作ログを CF カードへ保存しており，リモートで参照可能である．
- データ収録状況，機器温度状態，GPS 受信

状態，時刻校正状態，無線機データ受信状態，UPS 状態等を監視する SV 情報パケットを生成する．
・TCP/UDP，telnet，ftp の通信プロトコルを有する．
・10BASE-T，100BASE-T，RS-232C，接点入力の通信インターフェースを有する．
・コントロールセンターから再送要求パケットが返された場合には，それに応じた再送パケットを送信する．
・コントロールセンターのマスタ機のアドレスを CC1，スレーブ機のアドレスを CC2 とした場合，テレメータ送量装置は CC1 から定期的に送られてくる生存情報パケットを監視しており，一定時間（20 秒）生存情報パケットが届かない場合は，パケットの送信先を CC2 に切り替えるとともに CC1 宛に 60 秒毎に生存情報パケットを送る．CC1 が復旧して生存情報パケットが受理されたらパケットの送り先を CC1 に切り戻す．

② ロガーユニット
・HAKUSAN 製 TS14720.
・設定に従い，入力データを A/D 変換し WIN パケットを生成しテレメータユニットへ送信する．
・1 台のロガーユニットで 6CH のデータを処理できる．1 台のテレメータユニットには 2 台までのロガーユニットを接続でき，最大 12CH までのデータを処理できる．
・入力：6 チャンネル差動入力
・入力レンジ：±10V，±1V をチャンネル毎に切り替え可能．
・サンプリング周波数：200Hz，100Hz，40Hz，1Hz を 3CH 毎に切り替え可能．
・分解能：24bit（⊿Σ型 AD 変換），データビット長は 14-24bit から選択可能．
・CF カード：48MB～2GB が使用可能．フォーマットは FAT16 あるいは FAT32 に対応．
・TCP/UDP，telnet，ftp の通信プロトコルを有する．
・10BASE-T，100BASE-T，RS-232C の通信インターフェースを有する．

③ HPF/CAL ユニット
・HAKUSAN 製 TS14715.
・1 台のユニットで 3CH のデータを処理可能．
・入力データに対してハイパスフィルタ（Fc=0.001Hz）を 3CH 毎にかけることができる．
・3CH 毎に入力をショート状態にすることができる．
・手動あるいはタイマー設定により，接続されている地震計の検定コイルにキャリブレーション信号を流すことができる．出力電流は 0～10mA である．

(2) GPS アンテナ
・古野電気製 GPA-017SC
・時刻校正用の GPS アンテナ．
・周波数帯域 1575.42±1.023MHz.

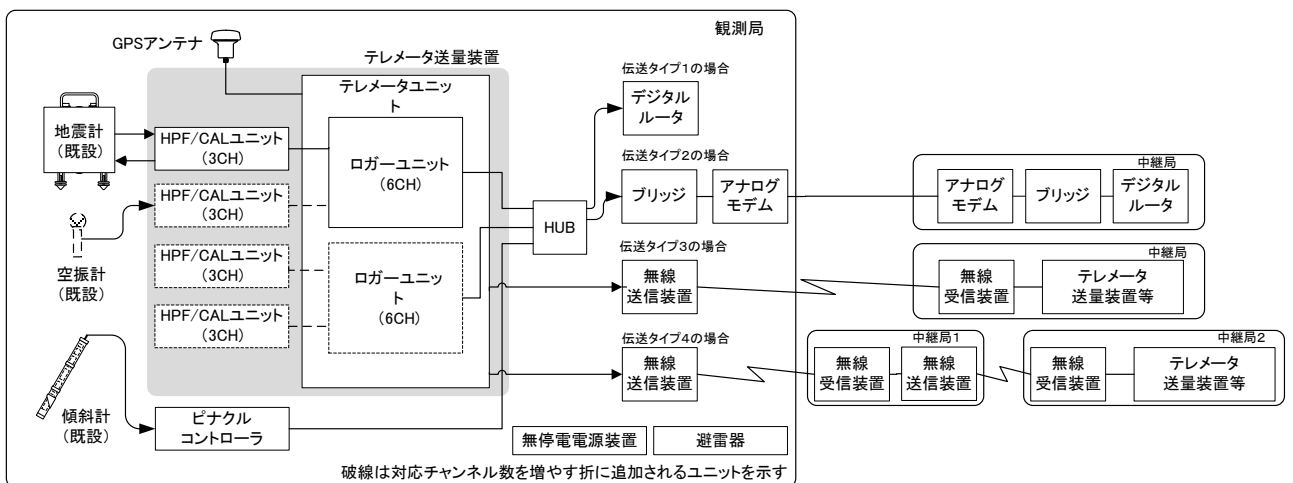



図 5-3 構成機器（火山データ受信転送装置を除く）

・利得　27.5±5.5dB.

(3) ピナクルコントローラ

・HAKUSAN 製 TS14745.

・ピナクル傾斜計（pinnacle-5000）とシリアル通信を行い，傾斜データを取得して WIN パケットを生成し，テレメータユニットへ送信する.

・TCP/UDP，telnet，ftp，http の通信インターフェースを有する.

(4) HUB

・CenterCOM 製 FS708TL.

・インターフェース：10BASE-T，100BASE-TX に対応する．ポート数は 8.

(5) 無停電電源装置

・サンケン電気 KK 製 SRU-102.

・バックアップ時間は約 5 分（700W）.

(6) デジタルルータ

・YAMAHA 製 RTX1100.

・LAN 側インターフェース：コネクタは RJ45，規格は IEEE802.3(10BASE-T/100BASE-TX)，ポート数は 3.

・BRI インターフェース：コネクタは RJ45，適用回線は ISDN 回線交換，デジタル専用線，フレームリレー回線，ポート数は 1.

(7) ブリッジ

・HYTEC INTER 社製 ET100.

・RS-232C(同期)インターフェースと 10/100BASE-TX インターフェース間を双方向に信号変換する機能を有する.

・WAN 側インターフェースは DB25Male.

・LAN 側インターフェースは RJ45.

(8) アナログモデム

・パラダイン製モデル 3920Plus

・アナログ専用線を介してデータのシリアル通信を行う．ブリッジでシリアル変換された IP パケットの通信を行う.

(9) 無線送信装置・受信装置

・HAKUSAN 製 RM330T（送信装置），RM330R（受信装置）.

・送信周波数, 400MHz 帯の 1 波（気象援助局）.

・出力，10mW～1W.

・通信方式，単方向の連続通信.

・無線送信装置から対向の無線受信装置に対して 1 秒毎に非同期 WIN パケットを送出する.

・無線受信装置は非同期 WIN パケットを受信するが，単向通信であるため再送要求は行わない．非同期 WIN パケットを WIN-UDP パケットに変換し出力する.

(10) 避雷器

・電源系回線避雷器，森永電子製 ALPK-VN2P.

・シリアル信号避雷器，BLACKBOX 製 SP361A-R2.

・地震計用信号避雷器，昭電製 SIG-HS24S.

・GPS 用同軸避雷器，サンコーシヤ製 B-JP-1.

・アンテナ用同軸避雷器, サンコーシヤ製 N-JP-1.

・デジタル専用線用回線避雷器，森永電子製 ALP-PK.

・アナログ専用線用回線避雷器，森永電子製 ALPK-VN4S.

・耐雷トランス，RF30AC.

5.5　火山データ受信転送装置

いくつかの火山においては，他機関が整備している地震計等のデータを，各火山センター及び鹿児島地方気象台で分岐供与を受けていたが, 新しい VOIS の整備に伴いこれらのデータを東京センター及び福岡センターの中枢でシステムに伝送する必要が出てきた.

東京センターで受信しているデータについては，東京センターに別途整備されている「火山データ収集配信装置」により，Earth-LAN を介して福岡センターへ共有されており，福岡センターで受信しているデータについても同様に，福岡センターに別途整備されている「火山データ収集配信装置」により Earth-LAN を介して東京センターへ共有されている.

札幌センター，仙台センターで受信している他機関データについては，それぞれのセンターに別途整備されている「データ受信転送装置」により Earth-LAN を介して福岡センター，東京センターへ伝送している.

鹿児島地方気象台では，大隅河川国道事務所が桜島に整備した観測点のデータ（地震計・空振計データ 13CH，傾斜計データ 8CH，伸縮計データ 12CH，温度データ 4CH）の分岐を，大隅河川国道事務所の

自営の光回線で受信している．このため本整備において，これらのデータを，気象庁が整備している赤生原，湯之，東郡元のデータと合わせて，Earth-LANへ送出するために，鹿児島地方気象台に「火山データ受信転送装置」の整備を行った．また，鹿児島地方気象台では，一部の地震計データを鹿児島空港の航空会社へアナログ分岐しており，本装置にはアナログ出力機能を付加して，引き続きデータ分岐を継続している．

本装置の構成は図5-4のとおりである．

5.5.1　集約転送部の機能

・本装置は複数のWINパケットを受信し，それを指定するホストへ転送するものである．

・WIN パケットの受信機能：最大 100CH，再送要求のON/OFF切り替えが可能である．

・SV情報の生成送出が可能である．

・UPSによる自動シャットダウン，自動起動が可能である．

・3箇所の部外ホスト（東京CC，岐阜CC等）及びアナログ出力部へ WIN パケットを送出することが可能である．

・冗長構成（マスタ/スレーブ）となっており，部外ホストとは，仮想IPアドレスで通信を行う．

・10 プロセスまでの受信プロセス及び送信プロセスを起動可能．

・集約転送部からの送信には，仮想IPアドレスではなく，各集約転送部の個別IPアドレスが使用されている．

・WINパケットの再送要求も，個別 IP アドレスから発行されるので再送パケットは個別IPアドレス宛でも仮想IPアドレス宛でも受信が可能．

5.5.2　アナログ出力部の機能

・本装置は，受信したWINパケットデータから，アナログ電圧信号（±10V，16bit，最大16CH）を生成するものである．

・1Hz，100Hz，200HzのWINデータに対応．

・出力遅延時間を4～10秒で設定可能．

・データ確認用に4CHの波形表示機能を有する．

・UPS による自動シャットダウン，自動起動が可能である．

5.5.3　火山データ受信転送装置の機器構成

・集約転送部：DELL 社製 PowerEdge R200（Intel XeonX3330）2台

・アナログ出力部：CONTEC 社製 VPC-1000（Intel Core2DUO E8400）2台

・アナログ出力ボード：National Instruments 社製 PCI-6733

それぞれのアナログ出力部について各2枚使用

出力チャンネル数：8 CH

出力分解能：16bit

出力電圧範囲：±10V

DACタイプ：ダブルバッファ，乗算方式

I/Oコネクタ：SCSI-Ⅱタイプ68ピン（オス）

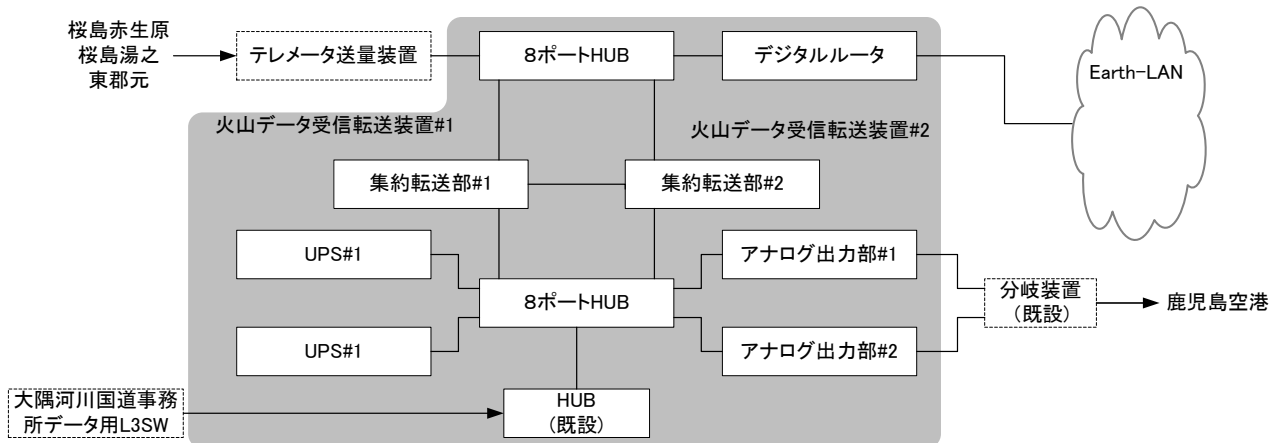



図5-4　火山データ受信転送装置の構成図

6　火山機動観測機器の整備*

6.1　機動観測機器整備の方針と種類及び整備数

今回の観測点整備に伴い，気象庁が常時観測を行う火山が増え，47 火山となった．火山機動観測機器についても，これまで老朽化した機器の更新及び新しく整備する観測点の機器に合わせて整備を行った．整備にあたり，各火山監視・情報センター（以下「火山センター」）の現有機器を調査し，以下の方針で整備数を決めた．

火山活動が活発化して社会的影響の大きな噴火発生の可能性が高まった場合には，緊急に観測点を増設して観測体制を強化し，火山現象を詳細に把握し，より確度の高い噴火警報の適時・適切な発表に努めるために，機動機器を整備する．平成 12 年に有珠山と三宅島の 2 火山で規模の大きな噴火が発生したことを踏まえ，緊急出動用として 2 火山分の観測機器を整備する．これまでの実績から，地震，GPS，空振の各観測項目に対して原則として 10 地点の増設を想定している．このほかの観測項目については，関係機関からの分岐支援も得ながら，状況に応じて必要機器を設置することになる．

平常時における調査観測は，概ね 5 年で全国の火山を対象に実施するため，各火山センターが年 6 火山程度を対象とし，1 火山につき観測点 5 地点配置を基本とした．

また，近年の噴火発生時等に現地で行う緊急観測の中では，COMPUSS による火山ガス観測や赤外熱映像装置による熱観測が多くの成果を上げていることから，各火山センターのほかに，従前から桜島・霧島山の監視を担当する鹿児島地方気象台，平成 20 年度に業務運用を開始した 4 火山防災連絡事務所にもこれらの観測機器を整備した．

今回の整備で購入した機動観測機器を次ページの表 6-1 にまとめた．

6.2　主な機器について

6.2.1　簡易型遠望観測装置

火山異常時に現場へ出動した際に，表面現象等の詳しい状況をライブ映像として各火山センターへ速報する，または緊急整備する遠望観測装置を運用開始するまでの間の代替措置として活用するため，職員が容易に設置できる簡易型の遠望観測装置を各火山センターに整備した．

画像伝送には，FOMA 回線が必要で，FOMA の通信サービスエリアである必要がある．電源は，太陽電池パネルも可能だが，大容量が必要で，商用電源があると設置が容易である．

整備後早々平成 22 年度に，仙台火山センターでは，吾妻山に機器を設置し，監視を強化している．平成 23 年 1 月の新燃岳噴火の際にも，全国機動観測班が仙台火山センター機器を緊急に鹿児島空港に設置した．また，気象庁の緊急対応として，今回整備した本庁機器を平成 23 年 3 月に津波観測のために，全国機動観測班が八戸特別地域気象観測所に設置した．

機器の構成は表 6-2 の通りである．

表 6-2　遠望観測装置機器一覧

品名	型番／規格	数量
＜スーパー超高感度カメラ＞		
3EM-CCD超高感度カメラ(カメラ本体)	NC-R550-CU	1台
21倍電動ズームレンズ	HZ2107SP/P	1台
リモコン装置　ズームレンズ等調整用		1台
リモコン装置用ケーブルセット20m	CB-2000	1式
屋外ｶﾒﾗﾊｳｼﾞﾝｸﾞ ﾌｧﾝ､ﾃﾞﾌﾛｽﾀｰ､ﾋｰﾀ付き	CH-3500-2C-N80	1台
三脚		1台
＜通常超高感度カメラ＞		
3CCD超高感度カメラ(カメラ本体)	WV-E850	4台
21倍電動ズームレンズ	HZ2107SPB/P	4台
リモコン装置　ズームレンズ等調整用		4台
リモコン装置用ケーブルセット20m	CB-2000	4式
屋外ｶﾒﾗﾊｳｼﾞﾝｸﾞ ﾌｧﾝ､ﾃﾞﾌﾛｽﾀｰ､ﾋｰﾀ付き	CH-1600	4台
三脚	KE-CS-DK-KI001	4台
＜映像配信収録部＞		
映像送信装置	ION-E100	5台
ﾋﾞﾃﾞｵﾀｲﾏｰ/ﾃﾛｯﾊﾟｰ/ｽｹｰﾙｸﾞﾘｯﾄﾞ装置	MMD-CK-DS-KI001	5台
＜無線システム部＞		
モバイルルータ	HS Atoru	5台
HUB	ETX2-SH5S	5台
通信カード	FOMA	5台
収納ボックス(電源・避雷器内蔵)	KE-MS-DS-KI001	5台

6.2.2　テレメータ装置

VOIS 更新，観測点整備，既設観測点 IP 化と合わせて，機動観測用テレメータ装置も WIN パケットデータを IP 伝送方式の機器とした．なお，購入したテレメータ装置にはロガー機能を搭載しており，地点選定作業（ノイズ調査）にも利用できる．

機器は，表 6-3 の通り，無線テレメータを含む最大の構成で一式組んでおり，臨時観測点設置時は必

＊ 上田義浩（現：大阪管区気象台）

表 6-1　整備機動観測機器一覧

機動機器名	観測機器	メーカー	機種名	整備数									備考
				札幌	仙台	本庁	福岡	浅間	大島	三宅	阿蘇	鹿児島	
簡易型遠望観測装置	スーパー超高感度カメラ	NTTdocomo				1							
	超高感度カメラ	NTTdocomo		1	1	1	1						
	屋外旋回カメラ	NTTdocomo				1							硫黄等用(火口カメラ型)
テレメータ装置	テレメータ装置一式	明星電気		6	6	12	6						本庁は硫黄等用含む
	簡易型震動データ伝送装置	恵比寿システム	UM-2	10		3	2						
GPS観測装置	2周波受信機	Trimble	NetRS	4	4	9	4						本庁は硫黄等用含む
	アンテナ	Trimble	Zepher	4	4	9	4						本庁は硫黄等用含む
	データ収集装置					1	1						RINEX変換
傾斜計	傾斜計	ミツトヨ	JTS-33	1	1	2	1						
赤外熱映像装置	サーモトレーサ	日本電気三栄		1	1	2	1	1	1	1	1	1	
火山ガス遠隔観測装置	二酸化硫黄濃度 遠隔観測システム	セキテクノトロン	SOU41			1		1	1			1	
測地観測装置	トータルステーション	ライカ	TCRA1201	1	1	2	1	1	1				
	デジタルレベル	ライカ	DNA03			1							
地震計	3成分地震計	Sercel	L-4C-3D	5	3	3	4						
	上下動地震計	Sercel	L-4C(V)			1	3						
	水平動地震計	Sercel	L-4C(H)	4		11	10						
	広帯域地震計	Guraip Systems Limited	CMG-3T	2	2	4	2						
空振計	空振計一式	ACO	TYPE3348	4	4	9	1						本庁は硫黄等用含む
その他	火山ガス警報器 SO2センサ	JIKO	GBL-SD	3	3	3	3	1	1	1	1	1	
	火山ガス警報器 H2Sセンサ	JIKO	GBL-HS	3	3	3	3	1	1	1	1	1	
	電子天秤	SIMAZU	TXB 622L		1	2	1	1	1	1	1		
	デジタルビデオカメラ	SONY	HDR-XR520	1	1	2	1				1		

要な機材のみ選択して使用できる.

無線を使用する場合は，総務省への電波利用申請が必要である.

表 6-3　テレメータ装置一式の機器一覧

	品名	型番／規格(ﾒｰｶｰ)	数量
1	ﾃﾚﾒｰﾀ送信装置	S502G(明星電気)	1台
2	ﾃﾚﾒｰﾀ中継装置	S502G(明星電気)	1台
3	ﾙｰﾀ	RTX1200(YAMAHA)	2台
4	ﾃﾚﾒｰﾀ無線送信装置		
	無線送信装置	S500-RT(明星電気)	1台
	無線送信ｱﾝﾃﾅ(8素子)	8BD-4502RD(日本ｱﾝﾃﾅ)	1台
	ｱﾝﾃﾅ取付金具	614749(明星電気)	1式
5	ﾃﾚﾒｰﾀ無線受信装置		
	無線受信装置	S500-RR(明星電気)	1台
	無線受信ｱﾝﾃﾅ(8素子)	8BD-4502RD(日本ｱﾝﾃﾅ)	1台
	ｱﾝﾃﾅ取付金具	614749(明星電気)	1式
6	ﾃﾚﾒｰﾀ送量装置付属品 及びﾃﾚﾒｰﾀ中継装置付属品		
	GPSｱﾝﾃﾅ	S500-ANT(明星電気)	2式
	ACｱﾀﾞﾌﾟﾀ		2個
	ﾊﾞｯﾃﾘｰ接続ｹｰﾌﾞﾙ		2式
	記録ﾒﾃﾞｨｱ	CFｶｰﾄﾞ	2枚
	端子板	614745-1(明星電気)	2枚
	回線避雷器	ALP-PK(ISDN-8J4)	1個
7	ﾃﾚﾒｰﾀ無線送受信装置付属品		
	送信ｱﾝﾃﾅｹｰﾌﾞﾙ	10m 両端ｺﾈｸﾀｰ付	1本
	受信ｱﾝﾃﾅｹｰﾌﾞﾙ	20m 両端ｺﾈｸﾀｰ付	1本
	ｱﾝﾃﾅﾎﾟｰﾙ	1m	2本
	同軸避雷器	N-JP-1(ｻﾝｺｰｼｬ)	2個

また，設置が容易な簡易型震動データ伝送装置を必要とする火山センターに購入した．機器は，1Hz 振動センサ（地震センサ）等を接続し，１チャンネルのアナログ信号を無線で連続伝送することを目的としたテレメータである.特定小電力無線を応用し，送信機と受信機を１ペアで使用する．特定小電力無線を使用しているので免許は不要で，受信機側に高利得のアンテナを接続することで約 1km～3km の伝送が可能である.

6.2.3　GPS 観測装置

GPS 観測装置は，「3．GPS 観測装置」と同等の 2 周波の機器を全国で 20 台整備した.テレメータ部分については，衛星携帯電話を予定しているが，機器購入時点で IP 化対応衛星携帯電話方式の送信装置が発売になっていなかったので，今後整備していくこととした．テレメータ部分の衛星携帯電話が整備されるまでは，データは現地収録とする.

GPS データの処理は，本庁及び福岡の火山センターに整備した GPS 解析処理装置で行うこととする.

6.2.4　傾斜計

火山活動が活発化した場合，マグマの移動等を把握するためには傾斜計を増設して監視体制の強化を図る必要がある．緊急時に監視強化のために設置する傾斜計は，常時監視と同じ規格の傾斜計（ミツトヨ社製 JTS-33）とし，本庁用２，各火山センターに１台とした．設置には業者での調整後，現地に運ぶ関係から，購入５台全てを気象庁本庁に保管している.

6.2.5　赤外熱映像装置

山体表面及び火口内の熱活動を把握するほか，噴火発生時には火砕流の有無を判断するため，地上あるいは上空から実施する．地表面温度観測は極めて重要な観測項目である．このため，各火山センター及び各連絡事務所に必要数を整備した.

整備機器は, NEC/Avio の赤外線サーモグラフィ装置 H2640 である．温度測定範囲は－40℃～2000℃，検出最小温度差は 0.03℃以下, 測定精度は±2℃又は読み取り値の±2%（いずれか大きい方）等となっている．標準レンズのほかに広角レンズも購入した.

6.2.6　火山ガス遠隔観測装置

火山活動が活発化して噴煙量増加や噴火が頻発した状況になると，二酸化硫黄ガスの放出量が増加する場合が多い．火山異常時の緊急観測のほか，平常時からの火山活動を把握するため，二酸化硫黄ガスの放出量観測が有効と判断される火山で，ルーチン的に火山ガス観測を行えるように各官署に必要数を整備した.

6.2.7　測地観測装置

火山活動に伴う山体変形としての山体稜線の変化（測角）や斜距離の変化（測距）を把握するため，自動測距機能付きのトータルステーション（セオドライト及び光波測距の機能）を各火山センターに整備した．通常は繰り返し観測で使用するが，火山活

動が活発化した場合には APS 機能による連続観測が可能となる．なお，従来から観測を継続してきた浅間山及び伊豆大島では老朽化した既設機器を更新し，東京センターが直接データ収録・監視を行う体制とした．さらに，活動的火山において，GPS 等ほかの観測装置では捉えられないミリ精度の上下変動を把握するため，デジタルレベル計（水準測量機器）を東京センターに整備した．

6.2.8　地震計

火山性震動は，マグマや熱水の活動に関連して火山体内に生じる応力変化に起因する岩盤破壊，マグマや火山ガス，熱水等の火山性流体の移動等により発生する．火山性震動には発生メカニズムや地下構造により，周期の異なる様々な震動があり，それらを観測するために，地震計が必要である．

噴火発生予測など火山活動の評価診断をより的確に行う上で，マグマや熱水の活動に関連する火山性震動を観測することは極めて有効である，特に，これまでも地震急増を捉えて噴火予測を行った場合があり，火山性震動観測は噴火予警報の発表には不可欠な観測項目となっている．

平常時における活動状態把握のための調査観測，あるいは火山活動が活発化した場合の観測点増設による監視体制強化のため，地震計を購入した．

地震計センサーは，緊急機動用に従来から活用してきた速度型 1 秒センサーを 20 地点，調査観測用に 30 地点分を確保した．また，噴火規模の評価や長周期波形解析によるメカニズム解明のため広帯域地震計を全国で 10 台整備した．

6.2.9　空振計

空振計は火山噴火により火口から発生する空気振動を観測する機器で，その観測波形から噴火の有無や噴火地点，圧力変動量を推定できるなど，火山監視を行う上で非常に有効な火山観測機器である。火山活動が活発化した場合，噴火発生検知など監視強化のため地震計とのセットで設置する．緊急観測用として年間 2 火山の大噴火発生に対応可能な台数を確保するため，保有すべき機器数を全国で 20 台とし，不足数を整備した．

機器は，今回の観測点整備で設置したものと同じ ACO 社の TYPE3348 である．

6.2.10　その他

火山ガス警報器，ビデオカメラ（フルハイビジョン対応，ハードディスク内蔵）及び降灰観測用の電子天秤を整備した。

7　ボアホール型火山観測施設整備時のボーリングコアの採取及び解析*

7.1　ボーリングコアの採取とコア解析グループの取り組み

平成 21 年度補正予算により全国 47 火山に整備した多項目の火山観測施設のうち，全国 42 火山の 47 地点にボアホール型の地震計・傾斜計を設置した．これら 47 地点では，地震計・傾斜計を設置する観測孔の本掘削に先立ち，調査孔掘削を行うことでボーリングコア（以下，単に「コア」という）採取と物理検層を実施し，より観測条件の良い深度に機器設置するための検討材料とした（詳細は第 2 章を参照）．

今回の掘削地点はいずれも火山地域であるため，調査孔掘削で得られるコアは火山体の構成物そのものである可能性が高く，コアの解析により各火山の噴火史に関する新たな知見が得られることが期待された．そこで，ボアホール型火山観測施設整備にあたり採取したコアを解析し，成果を噴火シナリオや火山防災マップの高度化に役立てたいとの考えから，全 47 地点でオールコア採取（全深度にわたるコア採取）を行った．これらのコアの解析は，個々の火山の噴火史を熟知した研究者により行われることが望まれ，そのための枠組みとして火山噴火予知連絡会に「コア解析グループ」を設置した（平成 21 年 6 月 16 日の第 113 回火山噴火予知連絡会において設置，平成 23 年 3 月 31 日の成果報告書刊行をもって解散）．

コア解析グループ（主査：中田節也 東京大学地震研究所教授）は，コア解析を円滑に進め噴火履歴やマグマ発達史の解明等を火山噴火予知研究及び火山防災対策の検討に資することを目的とし，①良好なコアを採取するための支援，②採取したコアの一次記載（後述），③コアを利用した研究の実施及び研究成果の公表にあたってのルール作成を行った．また，火山ごとの担当者（以下，「個別火山担当者」という）を決め，個々のコアの一次記載等を分担した．個別火山担当者は，大学及び産業技術総合研究所等の研究者から構成される．

コア解析グループでは運営要領（火山噴火予知連絡会コア解析グループ，2009）を作成し，この要領に基づき活動した．運営要領は本グループの活動における指針をまとめたものであり，グループの運営上重要な役割を果たした．

①　良好なコアを採取するための支援

各地点において良好なコアを採取するため，また，採取したコアをいち早く確認するため，個別火山担当者が必要に応じて掘削現場立会い等を行った．一方で，気象庁から個別火山担当者に対して，掘削工事進行及び観測機器設置にあたり，地質に関する助言が得られるようにした．また，日々の掘削の進捗及びコアの採取状況の共有のため，火山噴火予知連絡会事務局から個別火山担当者へ作業状況を連絡（メール）した．

②　採取したコアの一次記載

一次記載とは，コアの観察を通して，コアの形状，岩種，成因，色調，岩相，構成物等を速報的に記述する作業のことをいう．一次記載は，産業技術総合研究所（以下，「産総研」という）の協力のもと，個別火山担当者が担当した．一次記載に際して，気象庁が応用地質株式会社（今回の整備において掘削等を請負）から提出を受けた地質柱状図，コア写真及び物理検層結果を個別火山担当者に提供した．また，個別火山担当者により一次記載の際に必要に応じてコアから試料が採取され，岩石学的分析や年代測定等が行われた．こうしたコアの特徴をもとに，それぞれの深度のコアがこれまでの研究により確認されたどの噴出物や堆積物に相当するかを検討し，対応関係についても一次記載に記述した．

なお，個別火山担当者の選任及びコアの保存や一次記載場所について産総研の協力を得ることに関しては，運営要領の考え方に基づき，火山噴火予知連絡会や産総研との事前調整を経て決定した．

③　コアを利用した研究の実施及び研究成果の公表にあたってのルール作成

コア採取及び解析の目的には，火山噴火予知研究や火山防災対策に資することを掲げており，コアを用いた研究については，噴火履歴やマグマ発達史解読などに利用される場合を優先した．また，一次記載を行った個別火山担当者のプライオリティにも配慮し，一次記載の終了前後にコアの利用に係る調整が生じた場合には，個別火山担当者の意見を踏まえるようにした．このほか，研究成果の公表にあたっては，気象庁の火山観測施設整備で採取されたコアを利用したこと，コアの保存・記載場所が産総研であること，共同研究費の出所等を明記するようルール化した．こうした内容は，運営要領に盛り込み，ルールに基づきコアに関する研究や成果公表が行わ

* 齋藤公一滝（現：内閣府）

れた．

一次記載終了後のコアは，原則として産総研に試料登録した．ただし，噴火史解明に有用でない等の理由から個別火山担当者が試料登録の必要がないとした一部のコアは，コア解析グループ内での所定の手続きを経て廃棄されることとなった．大半のコアは産総研に保存・試料登録されたが，コアの今後の活用については，産総研の利用規程等に従って進められる．このように，産総研へのコア搬入後のコアの保存もしくは廃棄,今後のコアの活用については,基本的に産総研に一任した．

7.2　ボーリングコア解析の成果と今後の展望

一次記載の結果については，第 116 回，117 回，118 回（いずれも平成 22 年度）の火山噴火予知連絡会において主査が報告を行った（例えば，火山噴火予知連絡会コア解析グループ，2011a）．その後，平成 23 年 3 月には,得られた成果を取りまとめた報告書（火山噴火予知連絡会コア解析グループ，2011b）を刊行した．また，産総研に登録されたコアが今後広く研究者に活用されるよう 47 地点のコアについて周知するため,日本火山学会の平成 22 年度秋季学術大会においてコア解析グループの取り組みを報告した（火山噴火予知連絡会コア解析グループ・気象庁地震火山部，2010）．

今回，全国 42 火山の 47 地点で採取したコアの総延長は 4,793ｍである．掘削長の半分以上が基盤岩であった地点は 47 地点のうち 5 地点のみであった．厚い溶岩，火砕流堆積物や土石流堆積物等が掘削長のかなりの部分を占めた地点があるとはいえ，各火山の噴出物及びその二次的な堆積物をかなり効率的に捉えたと考えられる．さらに，個別火山担当者の一次記載の結果，47 地点のうち約 3 割にあたる 14 地点からは，従来の研究では報告されていない（もしくは報告されていない可能性のある）火山噴出物が確認された（図 7-1）．このほか，新しい発見はなくとも，これまでの研究により明らかにされている火山噴出物の層序関係が確認されたコアが数多い．以上の結果は，火山観測施設設置のための掘削であってもコアを採取し，解析することの重要性を改めて示していると考えられる．

今回の試みについて整理すると，47 本に及ぶ全国規模で採取したコアを同時に記載した点，火山噴火予知連絡会コア解析グループとして対応した点において，これまでにないものとなった．また，コア解析の成果により，火山観測施設整備のために採取したボーリングコアを研究者が記載し，噴火史の高精度化に役立てようとする取り組みが，火山学的知見を蓄積するために極めて重要であることが再確認された．

火山観測に関する平成 22 年度の行政事業レビュー公開プロセスを経て,平成 22 年度以降 5 ヶ年計画で火山観測・監視体制の再編・強化を実施する計画となった（詳細は第 9 章を参照）．まずは平成 22 年度予備費による傾斜計の更新において，新たに観測孔を掘削する際のコアの採取及び解析を行うこととなり，気象庁ボアホール型火山観測施設整備・更新時のコア採取及び解析の取り組みが進んでいる．

1 本 1 本のコア解析は地道な作業であり，個々の成果は火山防災対策や火山噴火予知研究の進展に直結するようには見えないこともある．しかし，個々の火山の噴火史を詳細に理解しておくことは，各火山で今後発生しうる現象についてある程度の見通しを立てることにもつながる．コア解析により得られた成果については，気象庁の火山業務においても今後噴火シナリオを高度化する際などに活用されることが期待される．

文献

火山噴火予知連絡会コア解析グループ(2009): 火山噴火予知連絡会コア解析グループ運営要領，8pp.

火山噴火予知連絡会コア解析グループ･気象庁地震火山部(2010): 気象庁孔井型火山観測施設整備時に採取したボーリングコアの記載について，日本火山学会 2010 年度秋季大会講演予稿集，102.

火山噴火予知連絡会コア解析グループ(2011a): 気象庁孔井型火山観測施設整備時に採取したボーリングコアの解析結果【活動報告】，第 118 回火山噴火予知連絡会資料，11pp.

火山噴火予知連絡会コア解析グループ(2011b): 気象庁火山観測点ボーリングコアの解析～成果報告書～, 気象庁，403pp.

図7-1．47地点で採取されたボーリングコアの解析結果．

掘削地点は次のとおり．01 Ats：アトサヌプリ跡佐登，02 Mkn：雌阿寒岳飽別川上流，03 Tkc-b：十勝岳望岳台，04 Tkc-o：十勝岳翁温泉，05 Trm：樽前山南西山麓，06 Ktr：倶多楽上登別温泉，07 Usu：有珠山昭和新山南麓，08 Hkk：北海道駒ヶ岳梨の木沢，09 Esn：恵山柏野，10 Iwk：岩木山松代町白沢，11 Aky：秋田焼山ぶな沢，12 Iwt：岩手山馬返し，13 Akk：秋田駒ケ岳八合目駐車場，14 Cki：鳥海山観音森，15 Krk：栗駒山沼倉耕英，16 Zou：蔵王山坊平，17 Azm：吾妻山浄土平，18 Adt：安達太良山沼尻山甲，19 Bnd：磐梯山裏磐梯高原，20 Nsd：那須岳板室沼ツ原，21 Nks：日光白根山湯元五色沢，22 Kts：草津白根山青葉山西，23 Asm：浅間山塩野山，24 Ngy：新潟焼山大平カラサワ，25 Ykd：焼岳奥飛騨中尾，26 Nrk：乗鞍岳安曇野三本滝，27 Ont：御嶽山田の原，28 Fjs：富士山太郎坊，29 Hkn：箱根山二ノ平，30 Izt：伊豆東部火山群松原猪山，31 Izo-k：伊豆大島北の山，32 Izo-s：伊豆大島泉津伊東無，33 Izo-f：伊豆大島二子山北西，34 Nij：新島瀬戸山南，35 Kuz：神津島天上山西，36 Myk：三宅島雄山南西，37 Hcj：八丈島西山南東山麓，38 Aog：青ヶ島松山ヶ平，39 Kju：九重山星生山北山腹，40 Aso：阿蘇山古坊中，41 Unz：雲仙岳国見岳北山腹，42 Krs：霧島山高千穂河原，43 Skr-k：桜島黒神瀬戸，44 Skr-y：桜島横山，45 Skr-f：桜島二俣あみだ川，46 Kce：口永良部島新岳北東山麓，47 Sws：諏訪之瀬島ナベタオ

コア解析グループによる47地点のボーリングコア解析の結果，14地点からはこれまで報告されていない，もしくは報告されていない可能性のある火山噴出物が確認された(図中☆)．なお，基盤岩の凡例で示したもののうち，05 Trm，07 Usu，44 Skr-yについては，火砕流堆積物との記載がなされたが，各火山の活動前の噴出物であるため，本柱状図では基盤岩として表記した．

8　データの流通と活用*

8.1 火山噴火予知連絡会における検討

火山観測データの流通に関しては，文部科学省の科学技術・学術審議会測地学分科会火山部会の「今後の大学等における火山観測研究の当面の進め方について（平成20年12月15日)」において，以下のとおり，関係機関間において流通・共有を推進するという方針が取りまとめられた.

「我が国の火山においては基盤的観測網が未整備のため，現在火山観測データの流通は火山防災目的での気象庁等へのデータ提供やデータ交換に限定されている．火山研究の更なる発展のためには，基盤的観測網の整備や大学の観測施設への支援とともに火山観測データの流通を促進する必要がある．このため，教育研究と火山防災の双方に資することを目的として，今後，火山の観測データを気象庁及び防災科学技術研究所等のデータ流通設備を活用して，大学，研究機関及び気象庁等の間でリアルタイムに流通できるようなシステムを早急に検討する．検討に当たっては情報流通に伴う問題点等を検証して，情報の取り扱いルール等を取りまとめ，維持費用等の確保も考慮の上，現実に即した関係機関間でのデータの共有と教育研究，防災等への活用の方策を検討する.」

これを受けて，火山噴火予知連絡会では,「火山観測体制等に関する検討会」において,火山観測データの流通・共有のあり方や流通・共有に当たっての技術的事項について検討を行った．技術的事項については,「火山観測データ流通･共有に関する作業部会」を設置して検討を行った．同作業部会では,「地震計・傾斜計・空振計等の振動観測データ等の共有化の効率的かつ速やかな実現を図るため，既存のシステムを有効活用する．具体的には，地震調査研究における地震計データの交換に利用されている流通経路を利用することを基本とする」，また，「防災科学技術研究所の基盤的火山観測網及び気象庁のテレメータによる震動観測データ等については，原則，すべて流通・共有の対象とするとともに，提供システム等の環境が整い次第，地震調査研究のためのデータと同様に，希望する研究者等に全て公開する」という基本的な考え方を観測体制検討会に対しての報告・提案事項として取りまとめた.

作業部会の報告を受けて，検討会ではデータ流通・共有を図るための具体的な検討を行った．その結果，将来的には，大学等研究機関も含めた関係機関全体における観測データの流通・共有化の実現が望ましいと考えられるが,「現在の各機関の通信インフラ等の違いから，全く同じ条件で流通・共有を行えない大学等があるが，当面は，気象庁とのデータ交換に利用している回線等を利用して可能な範囲で流通・共有を進めるとともに，今後，速やかに同等の条件で観測データの利用が可能となるよう，関係機関が連携して改善を図っていく」こととし，まずは気象庁における火山活動の監視を主目的としたデータ交換の拡大を先行して実現することを目標とした．火山観測データの交換については，地震調査研究に用いているシステム（防災科学技術研究所（本章中において，以下「防災科研」という）が整備したLANシステム. Tokyo Data eXchange. 以下「TDX」という）を利用することを基本とし，観測データ交換に係る協定については，気象庁とデータ交換等を行う大学毎で個別に，また，TDXを運用・管理している防災科研を加えた三者間の協定を締結するとの方針で協定案の「ひな型」を作成した.

気象庁と各大学間において,「ひな型」に沿って，交換する観測点の内容等，具体的な調整を進めている段階において，一部の大学から，気象庁の監視目的へのデータ提供（データ交換の場合を含む）にあたり，火山周辺等に気象官署を有する気象庁に対し観測点の保守作業への協力について，協定に明記して欲しいとの要請があった．火山課内及び管区火山監視・情報センター等と検討し，火山活動の状況等から，監視に必要な場合の障害時の復旧作業に協力することとし，庁内の了解を得たうえで，協定締結の事務を進めることにした.

8.2　総合観測点等の観測データの流通

今回整備した「総合観測点」等の火山観測施設は，噴火警報等の防災情報の的確な発表のための火山活動の監視が主目的ではあるが，大学等における研究にも資するものとすることも考慮したものである．具体的な観測点配置を検討するにあたっても，観測

* 齋藤 誠（現：高知地方気象台)，舟崎 淳（現：宮崎地方気象台）

データを関係機関間で流通・共有することを念頭において，気象庁の観測施設だけではなく，大学や防災科研の既存の観測施設や防災科研等が新たに整備を予定している観測施設に関する情報を収集し，打ち合わせを行ったうえで，関係機関の観測施設全体で適切な観測点配置となるように努めたところである．

各大学との火山観測データの交換等の協定の締結については，前述のように個別に進めることになったが，総合観測点等の気象庁の観測データはその協定に関わらず，大学等の関係機関に提供することとした．

具体的には，平成 23 年 2 月 1 日から開始した TDX を利用した防災科研との火山観測データ交換と合わせて，気象庁の火山観測施設のデータ（地震計・傾斜計・空振計のデータ）については，TDX 経由で大学等に流通させ，希望する大学等には防災科研に申請書を出していただくことにより火山噴火予知研究や防災業務等への利用を許可することとした．また，TDX からデータを取得できない研究者等においても，防災科研が整備したデータ公開用のサーバーから地震計・空振計のデータを取得できる仕組みができており，火山に関する研究の進展にも寄与することが期待される．

なお，平成 23 年 11 月末時点において，5 大学 2 自治体から TDX 経由での気象庁の火山観測データの利用申請が来ており，これにより火山噴火予知研究の更なる推進等が期待される．

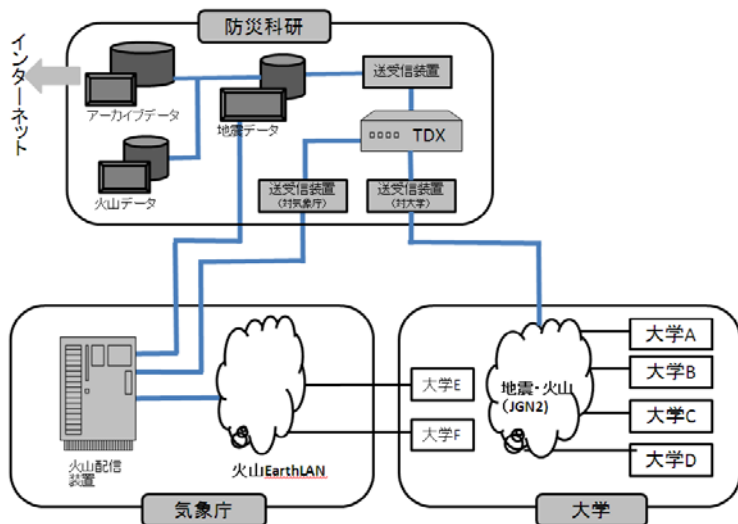



図 8-1　気象庁・大学・防災科研　3 者間のデータ交換の概念図

TDX : Tokyo Data Exchange.

9　今後の火山監視・観測体制（整備計画）*

9.1　はじめに

2000 年有珠山，三宅島噴火を受けて全国的に火山観測機器が強化されてから約 10 年が経過し，機器の老朽化が進みつつあることから，火山課では火山観測施設の更新計画を立案，予算要求を試みて来たところであるが，財政状況の厳しさから更新予算の獲得は非常に困難な状況であった．

しかし，平成 19～21 年度補正予算により全国 47 火山において遠望観測装置，地震計，空振計，傾斜計，GPS の整備が認められ，一部既存観測点の更新が実現したのを皮切りに，平成 23 年度より計画的な火山観測施設更新を開始した．以下その概要について述べる．

9.2　平成 23～27 年度更新の当初計画

平成 23 年度要求にあたっては，火山噴火予知連絡会の「火山活動評価検討会」の検討結果を参考に，1）火山活動度に応じて更新の優先順位をつける．2）必要経費ができるだけ毎年同じ規模になるように更新火山の選択を行う．という方針のもとに火山活動度に応じて更新に優先順位を設定し，概算要求作業に臨んだ(表 9-1).

表 9-1　火山観測施設更新年次計画(平成 23～27 年度)

平成23年度	更新経費(千円)	順位設定基準
GPS（FOMA対応）	118,284	①平成23年度末に回線サービスが終了するGPS観測点のある全国火山 ②次の本格的な噴火が切迫しているとされる **十勝岳，伊豆大島，桜島** ③最近2年間にマグマ貫入を観測し，それに伴う噴火や顕著な群発地震が発生し，近い将来噴火警報に相当する火山活動が懸念される **浅間山及び伊豆東部火山群**
十勝岳	39,885	
伊豆大島	3,004	
桜島	35,472	
浅間山	62,779	
伊豆東部火山群	26,295	
計	285,719	

24年度

霧島山	144,085	①最近10年間に噴火警報に相当する噴火が発生し、社会へ影響を及ぼした **霧島山，有珠山，三宅島** ②東北地方太平洋沖地震発生後、火山活動活発化の兆候がある **吾妻山，草津白根山，白山**
有珠山	40,970	
三宅島	34,737	
吾妻山	70,723	
草津白根山	17,479	
白山	1,747	
計	309,741	

25年度

雌阿寒岳	44,993	①最近10年間に噴火が観測された **雌阿寒岳，御嶽山，阿蘇山，薩摩硫黄島，諏訪之瀬島** ②噴火による社会的影響が大きいとされている **富士山**
御嶽山	25,686	
富士山	71,887	
阿蘇山	33,231	
薩摩硫黄島	1,909	
諏訪之瀬島	15,175	
計	192,881	

26年度

北海道駒ケ岳	58,474	①最近20年間噴火（噴火に準ずる活動）が観測された **北海道駒ケ岳，岩手山，九重山，雲仙岳** ②明瞭な火山活動の兆候が観測されている **樽前山**
岩手山	16,279	
九重山	9,637	
雲仙岳	48,837	
樽前山	61,982	
計	195,209	

27年度

恵山	14,686	火山活動の兆候が観測されている火山
秋田駒ケ岳	14,696	
安達太良山	7,699	
磐梯山	14,128	
那須岳	17,480	
口永良部島	34,121	
計	102,810	

火山観測施設の更新の必要性については理解を得られたものの，財政状況は依然厳しく，経理部門からは具体的な整備内容にも厳しい目が向けられた．

平成 20 年 2 月から平成 21 年 2 月に実施された火山噴火予知連絡会の「火山観測体制等に関する検討会」報告等を受け，平成 21 年度補正予算による強化整備観測点の配置及び既存観測点の配置を総合的に見直し，この過程で全国 95 地点の観測点について監視能力を維持しつつ縮減することとした．

9.3　行政事業レビュー公開プロセス

政府の国家戦略局は「予算編成等のあり方の改革について」(平成 21 年 10 月 23 日閣議決定)に基づき，各府省の予算監視・効率化チームが，各府省における予算の執行状況について，外部の有識者による視点を取り入れ，自己点検し，公開の場で検証を行う「行政事業レビュー公開プロセス」を実施することとした．

国土交通省では気象庁からのレビューの対象事業として唯一，「火山観測」が取り上げられ，平成 22 年 6 月 4 日，気象庁講堂に於いて「行政事業レビュー公開プロセス」が実施された．外部有識者と気象庁担当部局との間で火山観測業務の費用対効果，必要性等について真剣な応答が行われた結果，予算監視・効率化チームの見解として，「大学等他機関との連携・情報共有化，調達方式の改善等による予算の効率化，計画的な整備の実施を図るべきである．」との評価が下された．

この評価に基づき，気象庁の火山観測施設の計画的更新を実施する方針が認められ，国土交通省として火山観測施設の更新計画を積極的に推進することとなった．

9.4　平成 23 年度以降の火山観測施設更新

平成 23 年度以降も年次計画に沿い計画を実施し

* 藤原健治

ている．財政状況は依然として厳しく，概算要求による新規事業を確実に実施できるとは限らないが，火山観測施設更新計画の重要性・合理性を訴えることにより，着実に整備計画を進める必要がある．

平成 23 年度以降の具体的な整備計画は次のとおりである．

9.4.1　平成 23 年度 24 年度更新計画の実施

平成 23 年度は表 9-1 の火山の優先順位に従い，十勝岳，伊豆大島，桜島，浅間山，伊豆東部火山群の観測施設に加え，現在 GPS データ伝送に使用している携帯電話サービスが終了することから，同サービスを使用している 22 か所の GPS 観測点更新を実施することとした. 平成 24 年度以降については先の火山の優先順に，各年度の必要経費が均等になるよう計画している(表 9-1).

平成 23 年度概算要求作業を進めていたところ, 平成 22 年度予備費を使用することが認められ，平成 23 年 1 月に実施業者が決定, 待受け工事等一部を実施した．観測地点や伝送方法の見直し等の必要が生じたため, 本格的な整備作業は平成 23 年度に入ってから着手，平成 23 年 11 月末に完了した．

また，更新計画には含まれていなかったが，平成 23 年度第 1 次補正予算により，霧島山（新燃岳）噴火の爆発的噴火(平成 23 年 1 月)の際，機能を喪失した新燃岳火口カメラの代替観測点(霧島山韓国岳)の整備を追加実施し，平成 23 年度 10 月末に完了した(表 9-2).

平成 24 年度概算要求では平成 24 年度の当初計画とおり，霧島山，有珠山，三宅島について更新要求作業を進めていた．しかし，平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震後の全国の火山周辺の地震活動活発化等を受け，観測点の電源や通信回線のバックアップ体制強化，長期化が懸念される霧島山新燃岳の監視体制強化(表 9-2)と併せて，平成 27 年度に予定していた吾妻山，草津白根山，白山の更新を平成 23 年度第 3 次補正予算により繰り上げ実施した．

平成 24 年度に予定していた有珠山, 三宅島は計画に沿って 24 年度予算で実施した。

9.4.2　平成 25 年度以降の更新・強化計画

平成 25 年度は年次計画通り、雌阿寒岳・御嶽山・富士山・阿蘇山・薩摩硫黄島・諏訪之瀬島の更新作業をすすめている．また，平成 26 年度については，雲仙岳及び九重山について平成 25 年度補正予算要求中，樽前山，北海道駒ケ岳及び岩手山について平成 26 年度概算要求中である．

表 9-2　平成 23 年度以降の火山観測施設更新・強化概要一覧

予算種別	整備事項
平成 23 年度 第 1 次補正予算	遠望観測装置の機能強化（全国映像系ネットワーク強化，霧島山韓国岳観測点追加整備等） （平成 23 年度実施）
平成 23 年度 第 3 次補正予算	火山観測施設の緊急更新（霧島山・吾妻山・草津白根山・白山）
	火山観測施設の電源及び通信機能強化 (総合観測点・遠望観測装置)
	機動用 GPS 観測装置整備
	機動用磁力計整備
	衛星データ解析システム整備
平成 24 年度予算	火山観測施設更新 (有珠山・三宅島)
	量的降灰予報導入検討
平成 25 年度予算	火山観測施設更新 (雌阿寒岳・御嶽山・富士山・阿蘇山・薩摩硫黄島・諏訪之瀬島)
平成 25 年度 補正予算要求	火山観測施設更新 (雲仙岳・九重山）
平成 26 年度 概算要求	火山観測施設更新 (樽前山・北海道駒ケ岳・岩手山)

9.5　今後の火山観測体制について

平成 19 年度から実施している火山観測施設の整備計画の最終的な形が固まり, 平成 27 年度の更新完了に向けて着実に計画を実施しているところである．23 年度と同様に，状況の変化により，必ずしも当初予定通り実施できない部分もあるが，計画全体のバランスを考慮しつつ，今後も状況に応じて，また，あらゆる予算獲得の機会をとらえて，火山観測施設の更新計画を進める．さらに平成 24 年度より，量的降灰予報導入をめざし，検討会を実施する他，観測点整備というハード面だけではなく，火山噴火予知

連絡会の「火山観測体制検討会」，「火山観測データ流通･共有に関する作業部会」等での議論を踏まえ，大学等関係機関との間のデータ共有をさらに進め，気象庁の噴火警報・注意報等の発出体制の強化としてのみならず，日本における火山観測研究の進展への寄与という観点も視野に入れ，気象庁として全国の火山観測体制を充実させていく必要がある．

10　比較観測および整備の成果*

10.1　地震観測網の変更の影響

地震観測網で震源を決定する場合，地下の地震波速度構造や地形は簡略化して仮定せざるを得ず，そのため決定される震源の分布は，使用される地震計の空間分布に依存した系統誤差を持つことになる．

今回の整備以前の地震観測網で震源決定を行っていた火山においては，地震計の追加，移設，および廃止に伴う観測網の変更が，この系統誤差の分布に影響を与える可能性がある．その影響は，観測網の変更の前後で震源の分布の見かけ上の変化として現れる．同様のことはマグニチュード決定にも当てはまる．

今回の整備においては，総合観測点のボアホール地震計の追加だけでなく，他機関の高品質の観測データの一層の活用を図り，同時に既設の地上設置の地震計を必要に応じ統廃合して，観測網の改善と効率化を目指した．観測点の新設と廃止を含む各火山の観測網の具体的な改善計画は，観測体制等に関する検討会の検討を経て，報告書に別紙 1 として添付され公開された.その計画による地震観測網の変更に伴う影響を，予め新旧の観測網による計算結果の比較により確認する必要が生じることから，両観測網による並行観測期間を設定し，次節のような考え方に従って移行することとした(平成 21 年度地震火山技術検討会)．

10.2　観測網の移行の考え方

火山活動の評価においては，過去の活動との比較が重要であり，地震観測網の変更に際しては新旧観測網による並行観測を行い，検知力の変化，および震源の系統誤差の変化について把握する必要がある．

過去と比較する上でこれらの変化は，支障のない程度に小さいことが望ましいが，変化自体は避けられないことであり,整備前後の期間を含む資料では，観測網の変更時点の明示または図を分離するなどにより，誤解を生じないようにする必要がある．

今回のボアホール地震計整備により，また今後検討される他機関とのデータ流通も含め，これまでより S/N 比の良い高品位な波形データを活用できるようになる．これらのデータを活用するに当たり，火山活動に関連したこれまでの地震活動（活動場所や波形分類）の調査成果についても考慮し，検測・分類の基準を必要に応じ見直す．見直しの観点は，監視に必要な労力と，活動評価への有効性（過去データとの即時的な比較の必要性を含む）の兼ね合いで判断する．

10.2.1　設置調整時の初期設定とその後の調整

広ダイナミックレンジを微小な信号の観測に活用する観点で，ボアホール地震計設置時のテレメータ初期設定の GAIN は，18 dB（明星電気社製の場合）（注 1）とし，現地調整作業の中で本庁で雑微動を監視し（注 2)，短周期ノイズが大きい場合は必要に応じ GAIN を下げて設定する．

各センターで地震波形を監視できる環境が整ってから，改めてセンターにおいて信号と短周期（1 秒以下）ノイズの状況を確認し，微小信号より大振幅を観測する方が有効な場合は，センターにおいて，有線の地点は遠隔で，無線の地点は機動観測等の現地出張の機会に，再設定する．

注 1
速度計感度(固有周期1秒，減衰定数h=0.5)
＝1.7e+2 [V/(m/s)]
(ボアホール型の名目値，地上型は約 0.7e+2)
明星電気テレメータの利得18[dB]設定時の入力レンジ
= ±5[V] / 2^(18/6) = ±0.625 [V]
入力レンジに対応する速度レンジ
= ±5[V] / 2^(18/6) / 1.7e+2 [Vs/m]
= ±0.368e-2 [m/s]
24bitADCによるディジタルデータ感度(速度/count)
= 0.0745 [μV/count] / 1.7e+2 [Vs/m]
= 0.0438e-8 [(m/s)/count]
ADCのダイナミックレンジ 135 [dB] (@100Hz)
→ システムノイズを考慮した分解能
= 0.368e-2 [m/s] * 2 / 10^(135/20)
= 0.13e-8 [m/s]

注 2　同時期に実施していたVOISの更新と伝送系更新の工程上，現地調整を実施する時点では，データ収集は本庁のみで可能となる．

10.2.2　検測基準とする地震計および波形分類

これまで地震・微動の計数および波形の分類に用いてきた地震計と，今回整備する地震計とで S/N 比を比較し，より良好な地震計を基準として用いることを検討する(自動処理の可能性を考慮)．計数に用いてきた地震計を変更する場合は，過去の地震活動と概ね比較が可能なように，主要な地震活動域と地震計の位置関係を考慮して，新たな検測基準を決める．その際には，一般にボアホール地震計で記録される地震波の振幅は，地表付近の増幅の影響が少な

* 小久保一哉

いため,地上設置の地震計に比べて小さくなること,距離だけでなく火山地帯の不均質構造により地震波が減衰することなどに留意する.

今回整備する地震計と現在の波形分類に用いている地震計の波形データを波形分類の観点から比較し,既存の分類のしかた（基準）の妥当性を検討の上,必要な場合は新たな基準を設定する．その際には,一般に震源からの距離が長いほど高周波成分が低周波より減衰が大きい，また浅部の堆積層により特定周波数が増幅され単色気味になる可能性など，地震波形の卓越周期の見え方に影響することに留意する.

なお，沿岸や島嶼部等で，波浪の影響の大きい総合観測点は，地震計の通過帯域が周期 1 秒以下であることから,周期 1～2 秒以上の脈動を低減するための VOIS のハイパスフィルタの活用（10.5 節に解説を追記）も検討する.

10.2.3　震源の検知力および震源の系統誤差

平常時の震源決定で震源計算に用いる観測点の組み合わせは，新たな観測網の検知力が現在の観測網と概ね同程度で，震源の精度が劣化しないように,検測の労力も考慮のうえ設定する.

震源の系統誤差（観測網に起因する真の震源からの誤差）の変化については，既存観測網と新観測網による同一地震の震源を比較することにより把握する．地震活動域の全般にわたって比較できることが望ましいが，限られた期間で比較することが前提であり，発生場所ごとの活動評価への有効性も考慮して，必要に応じて基準以下の振幅の地震についても調査するなどで補う．あわせてマグニチュードの系統誤差についても把握する．系統誤差の変化が許容できない場合は，誤差が小さくなるように観測点補正を検討するが，その場合は他機関の震源分布など可能な資料も参照し，新旧のいずれが分布として適切かを確認の上，具体的な補正手法を検討する．新観測網を基準とする場合は過去の震源を補正して再決定する.

10.2.4　比較観測期間の条件

比較観測の期間は，火山ごと（観測点ごと）に,比較が可能になり次第開始し，整備に関連して廃止を予定している観測点については,概ね 2～3 ヶ月程度，最長で 6 ヶ月で比較を終了する.

10.2.5　総合観測点における調査事項

10.2.2 および 10.2.3 の調査内容を，総合観測点に関して既設点との位置関係で整理すると以下のようになる.

既設と同一地点に整備した総合観測点について,震源の系統誤差の調査は不要だが，計数基準とする場合は，他の近傍の観測点の振幅を参考に，新たな基準を設定する.

他の総合観測点について，現在の計数基準との接続を考慮して新たな計数基準を設定するほか，すでに震源決定を行っている火山では，既設観測網と新観測網(総合観測点を加え廃止予定の観測点を除く)の組み合わせで，震源系統誤差の変化を調査する.

10.2.6　廃止予定の観測点の扱い

並行運用後に廃止予定の観測点については，以下の並行期間の後に廃止する.

総合観測点は，VOIS 更新後の慣熟運用からデータの収録が可能になるため，その時点で比較を開始する．必要なデータが確保できた段階で予定の観測点を廃止する.

なお，S/N 比，火口からの距離，および他の地震観測点との位置関係等で，震源決定への寄与が少ない地震計は，比較観測には用いずに所定の時期に廃止する.

10.3　伊豆大島の事例

観測網の変更に関わる比較観測の事例として，伊豆大島の例を報告する．伊豆大島では気象庁の地震計に加えて，東京大学地震研究所（以下，震研）および防災科学技術研究所（以下，防災科研）の協力により地震計のデータを収集し，震源決定を行なっている．今回の整備により 3 点の総合観測点のボアホール地震計を追加し，それに伴って気象庁の 4 点の既設地震計（地上設置）を廃止した．またこの廃止で生じる疎な配置を避ける目的で，地震研究所のボアホール地震計 1 点を新たに分岐していただき,地震計の数は 4 増 4 減で分布では遜色なく，データの質的には地上設置からボアホールへの改善を図ることができた. 新旧の観測点の配置を図 10-1 に示す.

この観測網の変更の前に，新観測網で加わる 4 点の地震波形の追加検測を行い，新旧観測網の比較観

測を行った．

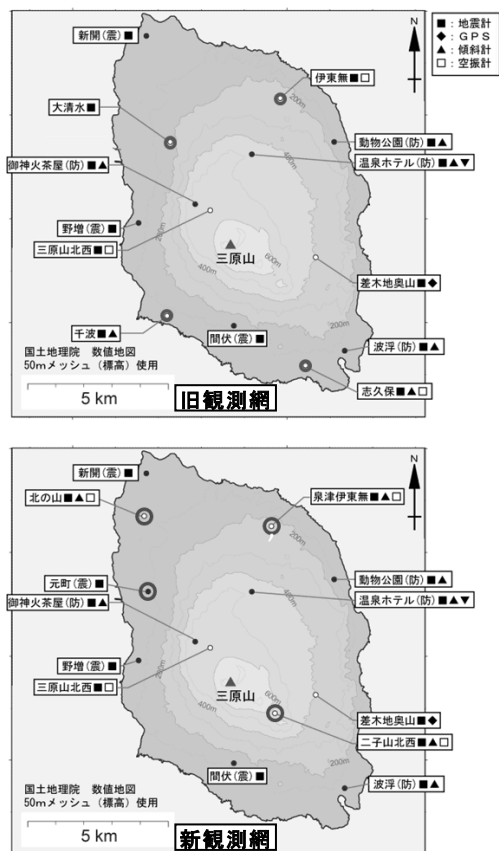



図 10-1　**伊豆大島の地震観測網の変更**

小さい白丸は気象庁，黒丸は他機関（震研および防災科研，それぞれ観測点名の（震）および（防）で示す）の地震観測点．上が旧観測網で◯で囲んだ点が廃止された気象庁の 4 観測点，下が新観測網で◯で囲んだ点が追加された 4 観測点（元町が震研の観測点，他の 3 点が気象庁の総合観測点).

10.3.1　伊豆大島の震源分布

伊豆大島は 1986～87 年の噴火活動の後，近年は次の噴火への準備過程にあると推測され，数年間隔でカルデラ北部の地下数 km を力源とする島内地盤の収縮と膨張が繰り返し観測され，その膨張期と同期して地震活動が活発になる．静穏な時期には主としてカルデラ内で微小な地震活動が継続しているが，地震活動が活発な時期には島内および周辺の広範囲に震源が分布し，震度 1 以上となる地震も多く発生する．活発な時期の地震活動は図 10-2 に示すように 4 個あるいはそれ以上のクラスタ状の分布が現れる．このような分布の特徴は，より高密度な観測網で震源決定を行っている東京大学地震研究所の観測成果にも共通に見られる．

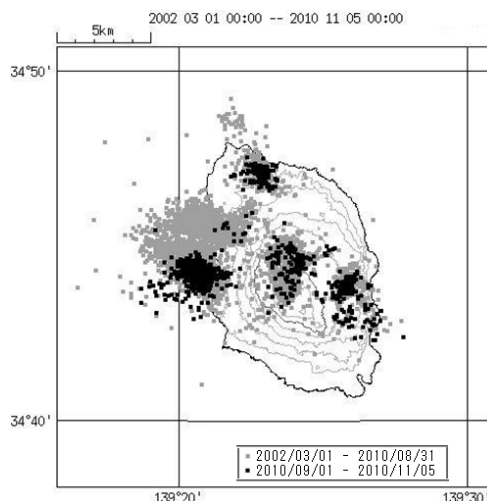



図 10-2　**伊豆大島の震央分布（旧観測網による）**

2010 年 9 月 1 日以降の地震（黒色）を並行観測に使用．気象庁に加え東京大学地震研究所および防災科学技術研究所のデータを使用．

10.3.2　比較観測の留意点

地震活動域が観測網の広がりを超える範囲で生じる場合は，震源の位置に応じて決定に用いる地震計の組み合わせは大きく変わり，そのため震源の系統誤差は，震源の位置にも依存すると考えられる．

伊豆大島の震源計算手法は，速度構造に水平成層構造を仮定し，各観測点には P，S 相到着時の補正値を設定している（観測点補正値）．震源の分布が観測網に対して広範囲であるため，本来は震源の位置に依存した系統誤差を，対応する多様な補正値で補正できることが望ましいが，システムで設定可能な補正値は観測点に対して 1 個に限られている．

そのため比較観測は，これらの各クラスタの系統誤差の観測網の変更に伴う変化が，平均的に最小になるように，新たに追加する 4 観測点の補正値を設定することを目的に行った．そこで必要なことは，観測点に距離が近いクラスタほど，観測点補正値が相対的に尤もらしい値で震源の決定に寄与するような，1 個の補正値を求めることと考えられる．

10.3.3　補正値の決定方法

比較観測の期間中に地震活動が活発になり各クラスタで地震が多数発生した．監視業務における日々の処理で，引き続き旧観測網で震源決定を行うのと

並行して，新たな 4 観測点の P,S 相を検測した．この間に比較観測に使用した震央を図 10-2 の黒色で示す．

その後，この検測値データセットを 4 つのクラスタに分けて，各クラスタに，1（山頂直下），2（西方沖），3（東部），4（北部）のように番号を付し，旧観測網による震源に対して 4 観測点で生じる走時残差の，クラスタごとの平均値を求めた．その結果を表 10-1 に示す．

表 10-1　新観測網で追加する観測点ごとの旧観測網による震源（クラスタ 1〜4）に対する走時残差

二子山北西												
1	41	2.9	P	41	1.2	0.102	(0.119)	S	6	2.1	0.057	(0.127)
2	86	6.4	P	86	1.9	0.066	(0.098)	S	2	3.3	0.215	(0.145)
3	97	2.2	P	97	1.1	0.100	(0.051)	S	18	1.9	0.267	(0.156)
4	3	8.1	P	3	2.3	0.120	(0.014)					
泉津伊東無												
1	21	3.9	P	21	1.6	0.195	(0.175)					
2	254	7.2	P	230	2.1	0.101	(0.045)	S	183	3.3	0.250	(0.128)
3	39	5.3	P	39	1.8	0.054	(0.061)	S	3	3.4	0.130	(0.233)
4	8	3.4	P	8	1.4	0.133	(0.091)	S	4	2.6	0.280	(0.089)
北の山												
1	51	5.4	P	51	1.7	-0.003	(0.111)	S	3	3.2	0.277	(0.101)
2	323	4.8	P	313	1.6	-0.022	(0.071)	S	207	3.0	0.352	(0.148)
3	47	8.4	P	47	2.5	0.186	(0.121)					
4	10	1.4	P	10	0.8	-0.023	(0.030)	S	5	1.7	0.190	(0.055)
元町（東京大学地震研究所）												
1	72	3.7	P	72	1.4	0.047	(0.057)	S	41	2.4	0.097	(0.121)
2	349	2.6	P	343	1.3	0.059	(0.060)	S	306	2.5	0.345	(0.146)
3	41	6.7	P	39	2.2	0.186	(0.178)	S	9	3.1	0.321	(0.230)
4	11	3.5	P	11	1.3	0.065	(0.056)	S	10	2.6	0.335	(0.101)

表は 4 観測点ごと，各カラムは行先頭から（時間はすべて[s]），
クラスタ No.，PorS 検測数，クラスタとの平均距離[km]，
'P'，P 相検測数，P 走時平均，P 残差平均（残差の標準偏差）
'S'，S 相検測数，S 走時平均，S 残差平均（残差の標準偏差）
（S 相の空欄は検測数＜2）

仮に全地震で平均すると，検測数の多い 2 番のクラスタで重みが増すので，近い地震で正確な補正値で寄与することは期待できなくなることがわかる．そのため各クラスタ（i）ごとの 4 個の走時残差平均値（t_i）から 1 個の代表値として観測点補正値（t_c）を決めるにあたり，各クラスタとの平均距離（d_i）による加重平均（重み w_i）を，一般的な次式で計算した．

$$w_i = \exp\left(-{d_i}^2 / {d_0}^2\right),\ i = 1...4$$

$$t_c = \left(\sum_{i=1}^{4} w_i\ t_i\right) \bigg/ \left(\sum_{i=1}^{4} w_i\right)$$

重みの式は距離ゼロで 1，d_0 で 1/e となるが，クラスタとの距離の分布から d_0 は 3 km とした．この関数のグラフを図 10-3 に示す．その加重平均を観測点補正値とし，既存の他の観測点と共に表 10-2 に示す．

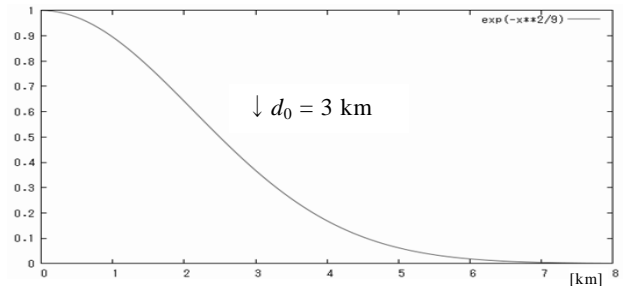



図 10-3　観測点〜各クラスタ間距離への重み関数

表 10-2　観測点補正値

観測点	P 補正値 [s]	S 補正値 [s]	
三原山北西	0.17	0.33	
御神火茶屋（防）	0.15	0.24	
新開（震）	-0.04	0.12	
野増（震）	-0.01	0.23	
差木地奥山	0.24	0.46	
伊東無	0.22	0.40	（廃止）
志久保	0.09	0.35	（廃止）
温泉ホテル（防）	0.12	0.21	
大清水	0.17	0.29	（廃止）
千波	0.08	0.53	（廃止）
動物公園（防）	0.03	0.06	
間伏（震）	0.14	0.33	
波浮（防）	-0.06	-0.09	
二子山北西	0.10	0.19	（追加）
泉津伊東無	0.15	0.26	（追加）
北の山	-0.02	0.21	（追加）
元町（震）	0.06	0.29	（追加）

10.3.4　新旧観測網による震源計算結果の比較

旧観測網による震源と，上で求めた観測点補正値を用いた新観測網（廃止予定 4 点を除く）による震源の比較を，クラスタごとに図 10-4 に示す．観測網の変更に伴う震源の移動は許容範囲で，比較観測による観測点補正値の決定は当面の運用として概ね問題ないと判断し，現業における観測網の運用を切り替え，予定通り既設の 4 観測点を廃止した．

なおオフライン的には震源位置により補正値パラメタファイルを使い分けることも可能で，より詳細な解析のためには今後も検討の余地がある．

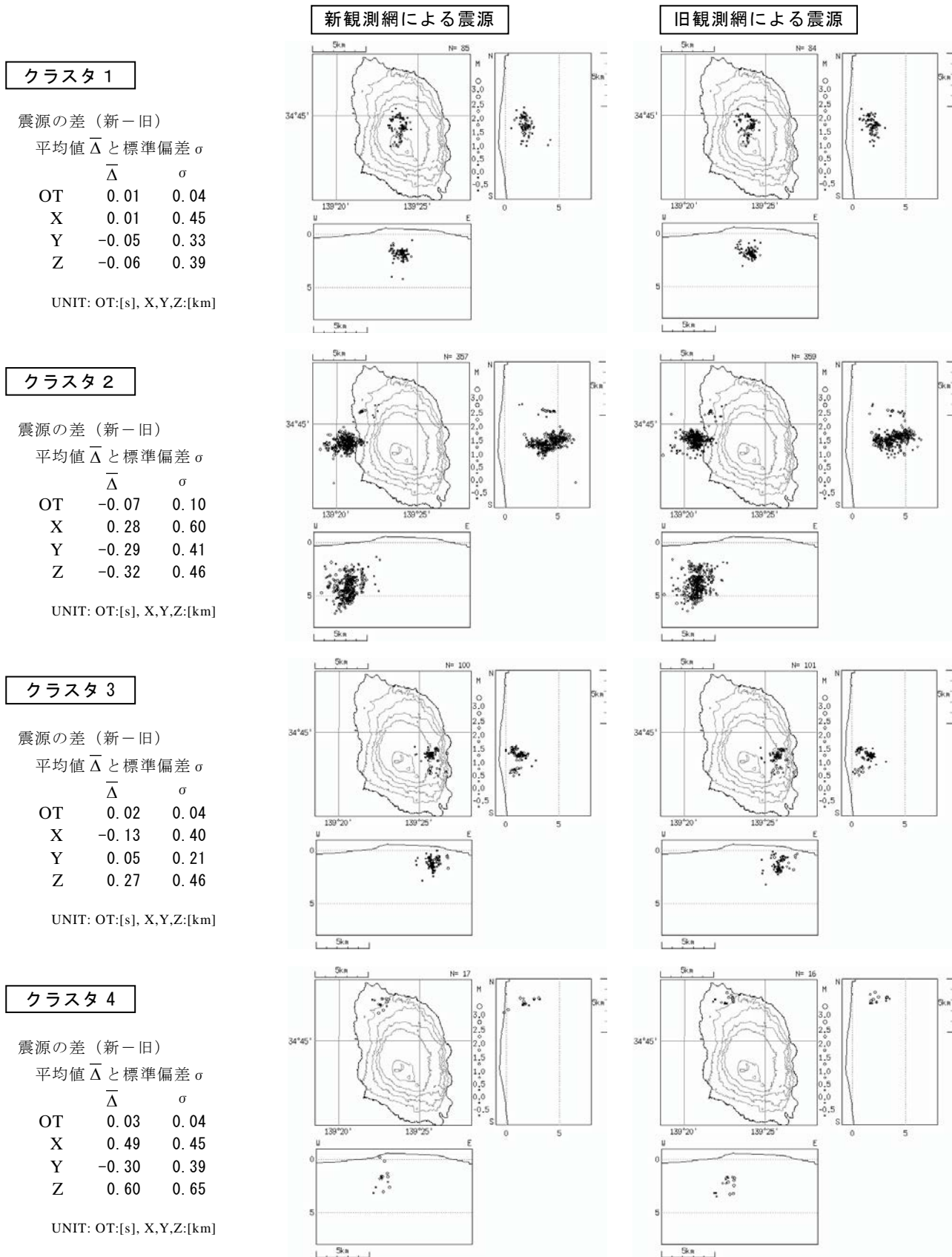



図 10-4　各クラスタごとの新観測網による震源（左）と旧観測網による震源（右）

上からクラスタ 1 ～4 の，新旧観測網による震源分布の比較．期間は 2010 年 9 月 1 日～10 月 31 日．左に震源の差（新観測網－旧観測網，XYZ は東・北・上向きの直交座標）の平均値と標準偏差を示す．気象庁に加え東京大学地震研究所および防災科学技術研究所のデータを使用．

10.4　整備の成果

今回の総合観測点の整備により，気象庁が連続監視する火山は34から47に増加した．監視・観測体制の充実が必要として選定されたこれらの火山において，火山活動の異常を自ら早期に発見し，噴火警報を的確に発表するために，必要最低限の観測体制を整えた．

気象庁が総合観測点の高品位のデータを獲得したことにより，従来から行われていた関係各機関とのデータ流通体制の見直しの中で，気象庁と大学等各研究機関の間で高品位のデータ交換の促進が期待される．気象庁はそれら関係機関のデータを用いて監視体制の一層の充実を，関係機関は火山研究への気象庁データの活用を，それぞれ図ることができる．

また観測井の掘削工事において取得したボーリングコアを，火山噴火予知連絡会・コア解析グループが調査したことで，火山学会での議論を経ながら噴火履歴の充実・見直しも行われている．気象庁はその成果を用いて噴火シナリオを充実させることにより，噴火警報発表業務を改善することができる．

10.4.1　ボアホール型地震計および傾斜計

今回の整備で,各火山の総合観測点のほとんどに,地下約100 mのボアホール型の地震計と傾斜計を設置した．気象庁の火山観測としては，1990年に伊豆東部火山群と雲仙岳での整備実績があるが，今回は初めての本格的な展開である．

ボアホール型地震計により，地震波形データは地表からの様々なノイズの影響が低減され，震動現象の検知力の向上と，観測網内のリファレンスとしてノイズとの識別を容易にするなど，改善が図られている．また従来は高いノイズレベルのため適用が困難であったVOISの自動検測等の処理も，今後は活用が可能となることで効率化が期待される．各火山ごとの総合観測点と既設観測点の地震計のノイズレベルを図10-5に示す．これらの既設地震計は従来から計数基準として用いてきたもので，総じて総合観測点のノイズレベルがより低いことがわかる．

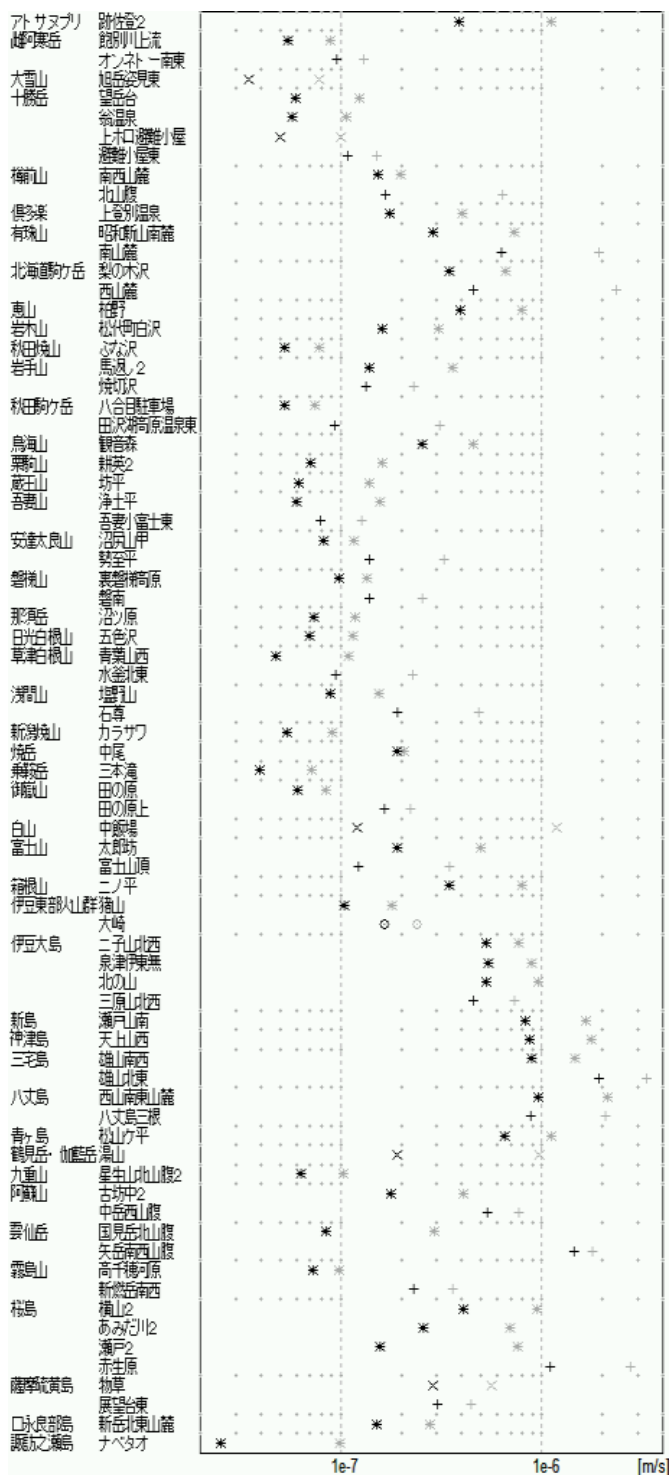



図10-5　**各観測点の地震計のノイズレベル**

夜間の最良値（黒）および日中の平均的な値（灰色）

＊: 総合観測点（ボアホール型），×: 同（地上型），

○: 既設観測点（ボアホール型），＋: 同（地上型）．

（全国的に風が弱かった2011年10月8日および11月4日の，1分ごとの振幅3σ値の，24時間における最小10位値，及び10～16時における中央値）

またボアホール型傾斜計により，高精度で高時間分解能の地殻変動観測を開始することができた．従来から浅間山等一部の火山で地下約 12 m に設置した傾斜計による観測が行われ，噴火前後の傾斜変動の観測に成果を上げているが，いずれも深度が浅いために降水等の影響を受けやすいという難点があった．

2010 年 5 月に設置した霧島山高千穂河原の傾斜計は，以前から稼働していた新燃岳山頂により近い地下 12m の傾斜計よりも明瞭に，その後の新燃岳の活動に伴う変動をとらえることができた．ノイズの少ない安定した記録により，地下の増圧・減圧のモデルに傾斜変化量を適用し，長期間の定量的な体積変化の見積もりが可能になり，活動推移の把握に貢献した（図 10-6）．

その他，いくつかの火山の傾斜計で観測されている事例を以下に挙げる．

火山性微動と同時あるいは先行して生じる地殻変動は，従来から既設傾斜計で観測されていた樽前山等の他，吾妻山や草津白根山等でも総合観測点で新たに観測され，地下の物質移動あるいは圧力変化と関連した火山性微動が発生していることが確認された（図 10-7,8）．

伊豆東部火山群では，これまでに伊豆半島東方沖の地震活動が繰り返し発生し，それと同時期に気象庁の体積ひずみ計（東伊豆奈良本）など種々の地殻変動観測データに変化が現れていた．これらは地下のマグマの動きを反映したものと考えられ，ダイクモデルによる説明もなされてきた．総合観測点の整備は，同火山群への噴火警戒レベル導入の取り組みが行われた時期にあたり，この変動を傾斜計で感度良く捉え得ることを条件に理論的な傾斜変動推定を参考に地点を選定したが，実際にその変化が明瞭に記録された（図 10-9）．

伊豆大島では，各機関の GPS 等の地殻変動観測によって，カルデラ北部地下を力源とする島内の収縮・膨張が数年間隔で繰り返し観測され，変動源の解析が行われている．次の噴火活動への準備期間にあるとの認識に立って，この変化と膨張期に同期して発生する地震活動を注意深く監視してきているが，総合観測点の 3 地点の傾斜計でも，その変動を明瞭に捉えることができた（図 10-10）．次の噴火直前のマグマの動きをリアルタイムで捉えるための観測装置として，その活用が期待される．

(a)

(b)

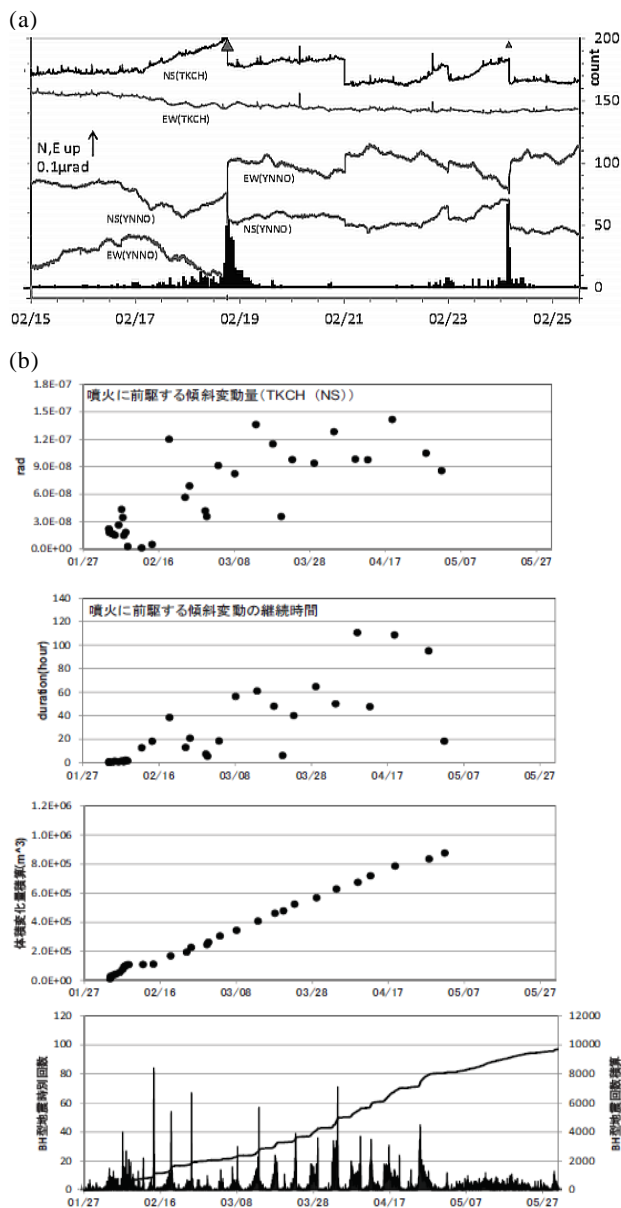



図 10-6　**火山噴火に先行する傾斜変動と変動量による地下の体積変化の推定（霧島山新燃岳）**

(a)　霧島山新燃岳で 2011 年 1 月の本格的なマグマ噴火以降に，繰り返し発生したブルカノ式噴火に先行する傾斜変動の例（TKCH:高千穂河原総合観測点，YNNO:既設の湯之野観測点，棒グラフは BH 型地震回数）．

(b)　高千穂河原の傾斜計の噴火に前駆する変動量と継続時間，他の観測を含め推定されたダイクモデルを適用した体積変化の経過，および BH 型地震発生状況（第 120 回火山噴火予知連絡会資料より）．

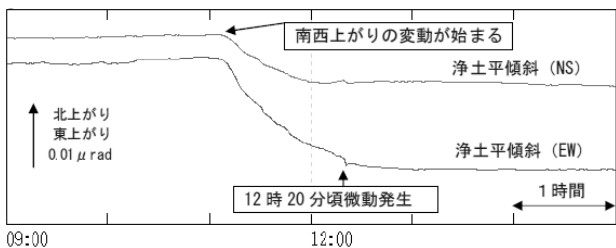



図 10-7　火山性微動に先行した傾斜変動（吾妻山）

2011年10月6日12時20分頃，火山性微動が発生し，浄土平総合観測点（大穴火口の東約1km）において，先行する西上がりの傾斜変動が観測された（第121回火山噴火予知連絡会資料より）．

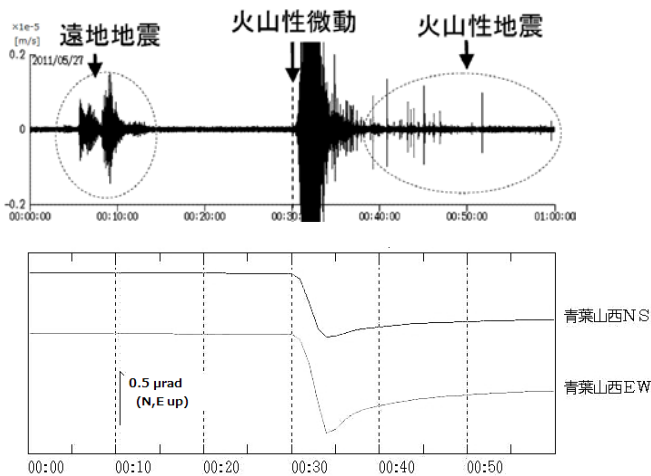



図 10-8　火山性微動と同時の傾斜変動（草津白根山）

2011年5月27日00時30分頃，火山性微動（継続時間約8分）が発生し，同時期に青葉山西総合観測点（湯釜の東南東約2km）で北東下がりの傾斜変動が観測された．上は同地点の速度計（固有周期1秒）上下動の波形（第120回火山噴火予知連絡会資料より）．

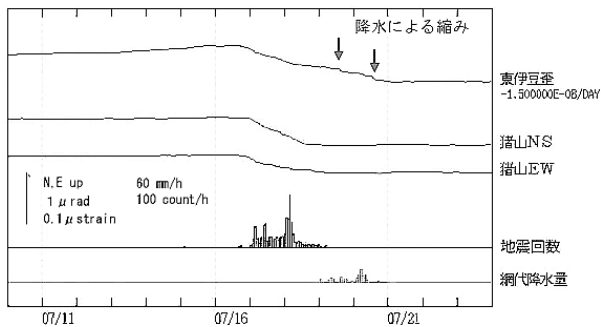



図 10-9　2011年7月の火山性の地震活動と同時期の傾斜変動（伊豆東部火山群）

火山性の地震活動と同時期に，猪山総合観測点の傾斜計と東伊豆奈良本の既設体積ひずみ計に現れた変化（第121回火山噴火予知連絡会資料より）．

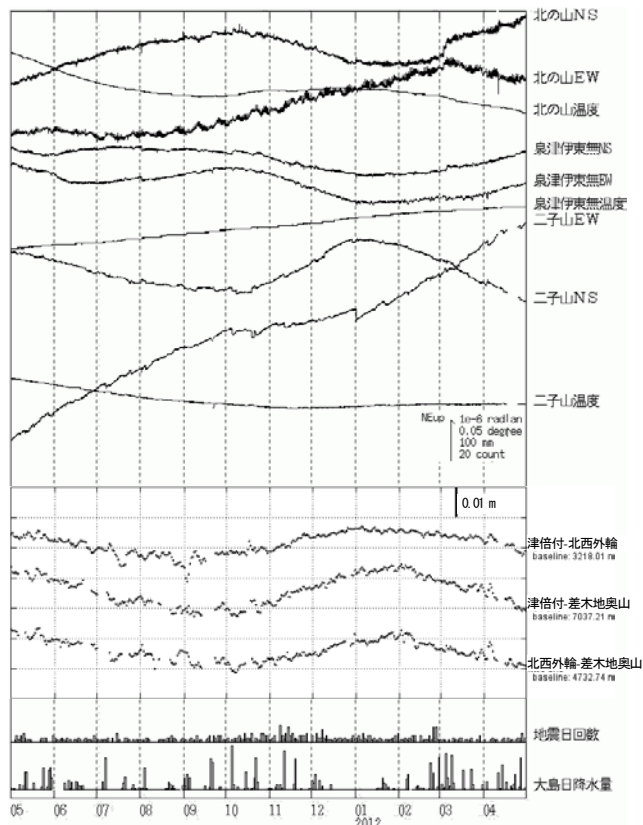



図 10-10　伊豆大島の地殻変動

伊豆大島の総合観測点3地点の傾斜計と，既設GPSの3本の基線長の変化．2011年10月ころと翌年1月ころを境に，GPSの基線長は縮み→伸び→縮みの傾向を示し，伊豆大島の収縮→膨張→収縮の地殻変動を記録している．その変化とほぼ同期して，各総合観測点で整合的な傾斜トレンドの変化が認められる．

10.5（参考）VOIS のフィルタ処理

VOIS の会話処理のフィルタは，現状では位相特性により到着時の検測には利用できないが(「ゼロ位相」特性，詳細は後述)，正しく使用すれば振幅の検測には有効である．そのためには，地震計の特性とフィルタの特性の意味，地震波の相を不要なノイズから周波数で分離するというフィルタの機能と必要な振幅特性の関係，およびその得たい振幅特性を VOIS で機能させるためのパラメタ設定の方法を理解する必要がある．これらのうち，ここでは VOIS のフィルタパラメタの求め方を中心に説明する．

VOIS の波形検測時のフィルタは，下表のフィルタ種別とパラメタにより指定する．

フィルタ種別	パラメタ
ハイパスフィルタ（HPF）	f_P,　f_S, A_P, A_S
ローパスフィルタ（LPF）	f_P,　f_S, A_P, A_S
バンドパスフィルタ（BPF）	f_H, f_L, f_S, A_P, A_S

これらのパラメタは斎藤（1978）の定義による．f は周波数[Hz]，添え字 P と S は Pass と Stop，A は対応する周波数における低減率を指定するパラメタである．なお一般に「フィルタ係数」とはフィルタの漸化式の係数を指し，これらのパラメタをそう呼ぶのは正しくない．

採用されているフィルタは最もよく用いられる Butterworth（バタワース）型で，通過帯域で振幅特性が平坦な特徴を持つ．この型のフィルタの仕様は，上記のフィルタ種別，カットオフ周波数 f_c および次数 n で特定され，これらの値は得たい振幅特性から直感的に決まる（図 10-11）．f_c は通過帯域の境界で，通常は利得が −3dB （= $1/\sqrt{2}$）となる周波数である．n は通過帯域の外側で振幅をどれだけ急に低減させるかを示す（周波数と利得の両対数グラフでは特性曲線の漸近線の傾きに対応）．例えば２次の HPF は，通過帯域の外側で傾き＝2 であり，周波数が 1/2 倍になると利得は $1/(2^n)$ = 1/4 になる．

これらの直感的な仕様から，VOIS におけるパラメタは，実用的には下表のように求められる．

フィルタ種別	パラメタの値
HPF, LPF	$f_P = f_c$ （カットオフ周波数[Hz]） $A_P = 1$ $f_S = 2\,f_P$（LPF），$f_S = f_P / 2$ （HPF） $A_S = 2^n$
BPF	$f_H = f_{cH}$ （高域カットオフ周波数[Hz]） $f_L = f_{cL}$ （低域カットオフ周波数[Hz]） $A_P = 1$ $f_S = 2\,f_H$ または $f_L / 2$ $A_S = 2^n$

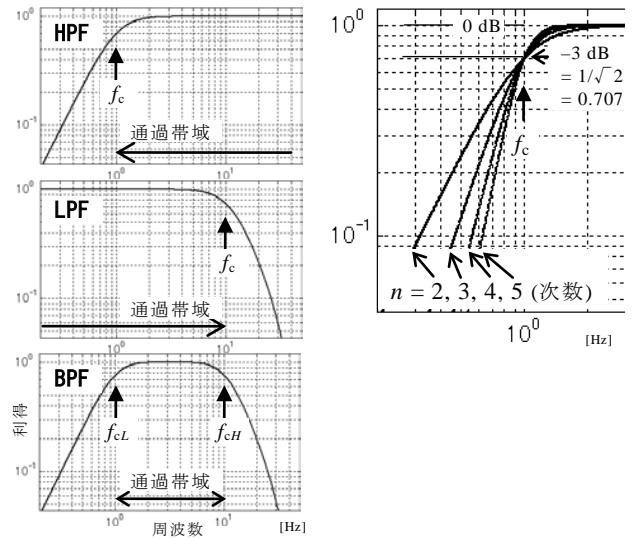



図 10-11 フィルタの振幅特性

（左）VOIS で採用されている Butterworth 型フィルタの，HPF，LPF および BPF の振幅特性の例と，カットオフ周波数 f_c および通過帯域の関係．（右）フィルタの次数と振幅特性の関係，カットオフ周波数における利得(–3 [dB]).

以下にその求め方を概説する．簡単のため，まず斎藤(1978)の本来の Butterworth 特性について，HPF と LPF で説明する．

f_P は，斎藤の定義では利得–3dB 以外の周波数を設定できるが，簡単のため通常の定義（–3dB）で，

f_P = カットオフ周波数

とする．

A_P は，f_P における利得の２乗を $1/(1+A_P^2)$ で指定する値で，–3dB の２乗とするため，

$$\frac{1}{1+A_p^{\,2}} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$\therefore \quad A_P = 1 \quad .$$

f_S は，カットする側（通過帯域の外）で利得（低減の割合）を指定する周波数で，$f_S > f_P$ (LPF)，または $f_S < f_P$ (HPF)で任意だが，簡単のためそれぞれ

$f_S = 2\,f_P$（LPF），$f_S = f_P / 2$ （HPF）　.

A_Sは，その f_S における利得の２乗を $1/(1+A_S^2)$ 以下となるように指定する値で，次数 n は LPF の場合，

$$n \geq \frac{\log(A_s/A_p)}{\log\{\tan(\pi\tau f_s)/\tan(\pi\tau f_p)\}}$$

を満たす最小の整数（HPF の場合は f_S と f_P を交換）．これはアナログフィルタの次式の関係

$$n \geq \frac{\log(A_s/A_p)}{\log(f_s/f_p)}$$

から，ディジタルフィルタ設計における z 変換（サンプリング周期 τ）の周波数変換（pre-warping）も考慮して導かれる．f_S における利得が A_S の指定を

満たすように最小の n が選択されフィルタが設計されるので, 逆に仕様で次数 n が与えられた場合は, A_S に次の不等式を満たす等号に近い値を指定する.

LPF:

$$A_s / A_p \leq \log\{\tan(\pi\tau f_s) / \tan(\pi\tau f_p)\}^n$$

HPF:

$$A_s / A_p \leq \log\{\tan(\pi\tau f_p) / \tan(\pi\tau f_s)\}^n$$

ここで, τ=0.01[s]において, 実用的な帯域設定として $f_P <$ 数 Hz の範囲では, 元のアナログ式が近似的に成り立ち, 上の f_S の指定例では, $A_P = 1$ により,

$$A_S = 2^n \quad .$$

となる.

例)

種別	カットオフ	次数	f_P	f_S	A_P	A_S
HPF	2 [s]	2	0.50	0.25	1.00	4.00
HPF	1 [s]	4	1.00	0.50	1.00	16.00
LPF	10 [Hz]	6	10.00	20.00	1.00	64.00

BPF は, f_P の代わりに, 帯域幅の高低両側を f_H および f_L で指定し, f_S は通過帯域の外側で $f_S > f_H$ または $f_S < f_L$ のいずれで指定しても同様に機能する. A_P および A_S の意味は前述と同様である.

なお, これまでの説明について, VOIS の現状に合わせて補足する必要がある. VOIS の会話検測のフィルタは, 全帯域で位相応答がゼロである「ゼロ位相」特性であるため, 振幅特性は元のフィルタの２乗になる. 即ち図 10-11 に示すようなフィルタの振幅特性を意図して前述の表で設定したパラメタに対して, 実際のフィルタの振幅特性曲線は, 縦軸の１ ($=10^0$) を中心に縦に２倍に引き伸ばした形状になる. その結果, カットオフ周波数を意図した f_P において実際の利得は–6dB (= 1/2) となり, また次数 n を意図して設定した f_S, A_S により実際に機能する次数は２倍の $2n$ である(特性曲線の漸近線の傾きが２倍). このことは, 振幅特性が意図した特性の２乗になることで, 通過帯域 (> –3dB) は若干狭まるものの, その外側でノイズを低減するというフィルタの機能が高まることを意味する. これを予め考慮して, 正確に意図した特性を実現するために,

$$A_P = \sqrt{(\sqrt{2} - 1)} = 0.644$$

$$A_S = 2^{(n/2)}$$

あるいは,

$$f_P = (\sqrt{2} - 1)^{-1/2n} f_c \quad \cdots\text{(LPF)}$$

のようなパラメタ設定も考えられるが, 表のような簡単な関係式にはならない. ここでは検測業務での容易さを重視し, 本来の定義に基づく前述の表掲載の設定方法を推奨し, 結果の振幅特性は設定時に意図した特性の２乗であること, 詳細には通過帯域で意図するより少し広めに f_P を設定すべきことを認識するだけで, 実用上は十分と考えられる.

この振幅特性の留意事項に比べると, 「ゼロ位相」特性により相の検測に利用できないという冒頭の注意事項はより重要である. 例として VOIS 会話検測処理で実際の波形をフィルタ処理した結果を示す（図 10-12). ゼロ位相は例えば波形の相互相関の計算やアレイ処理などで必要となるが, 通常の検測処理では必要性は少ない. この「ゼロ位相」特性は斎藤(1978)に起因するものではなく, 処理システムへの実装方法の問題であり, これを除去することにより, 相の検測にも利用できることが望まれる. 参考のため除去した場合の処理波形との比較を示す（図 10-13).

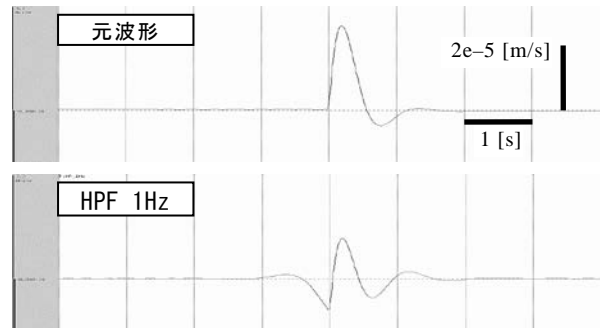



図 10-12　会話検測のフィルタ処理波形の例.

現状の VOIS のフィルタ処理は「ゼロ位相」特性のため, 元波形（上）の立上り時刻より前にフィルタ処理波形（下）に変化が現れる（非因果性と呼ばれる). 図は浅間山塩野山の上下動速度（固有周期 1s, h = 0.5）における定時の検定出力波形の例.

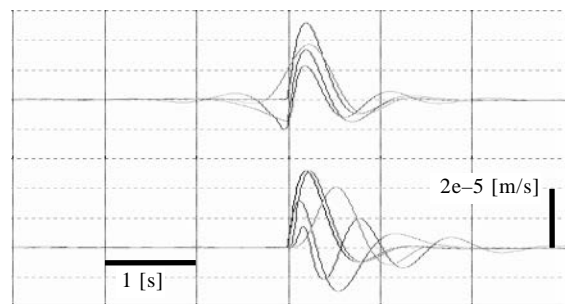



図 10-13　ゼロ位相フィルタと元のフィルタ

現状の VOIS のゼロ位相特性のフィルタ（上）と, ゼロ位相特性を除去した元の斎藤(1978)のフィルタ（下）による処理波形の例（いずれも, 図 10-12 の元波形と HPF1Hz, LPF1Hz, LPF10Hz, BPF1-5Hz の処理波形).

文献

斎藤正徳(1978): 漸化式ディジタル・フィルタの自動設計, 物理探鉱, **31**, **4**, 112-135.

11　整備体制及び担当者一覧*

平成 21 年度補正予算による火山観測施設整備は，当庁の火山業務にとって，これまでに経験のない大規模な事業となるため，火山課だけではなく地震火山部が一体となったプロジェクトチームを編成して取り組んだ．

プロジェクト開始当初の担当者一覧を表 11-1 に示す．工事開始までの期間，必要な作業事項を各チームに割り当て，毎週月曜日に，各担当のチーフ及び主な担当者で打合せを行い，各チームの進捗状況並びにその週の目標や予定，問題点を共有した．

また，工事開始後の担当者一覧を，各管区気象台担当者も含め表 11-2 に示す．この段階からは，毎朝火山課で担当者の打合せを行い，適宜 TV 会議システムで全国を結び，工事の進捗状況の報告や問題点の共有,解決方法の指示等を行った.本整備工事が，メインの火山総合観測装置の掘削作業と地中部の機器設置に加え，火山遠望観測装置及び GPS 観測装置の設置，それぞれの待ち受け工事，更にテレメータシステムの整備及び更新と多岐に及んだため，毎朝のこの打合せは非常に有効であった．

各整備工事は，全地点年度内完了を目指して，冬期に工事のできない地方は可能な限り前倒しの工程を組んで作業を進めた．しかし，火山地域という地理的アクセスの問題，国立公園や温泉地という特殊事情による地点選定や借地に掛かる手続きの問題，ボーリングに適さない地質等々があり，次々に顕在化する難題を解決していくうちに，工程は顕著に遅れていった．1 地点の工程の遅れは，他の地点及び他の整備工事の工程にも影響を与えた．このため．各工事での進捗管理を徹底すると共に，他の工事の進捗に合わせて，各担当官で幾度となく工程の調整及び見直しを行った．年度内完成に向けて，可能な限りの調整を行ったが，最終的には年度内の完成を断念せざるを得ない状況となった．このため，寒冷地を中心に冬期間の工事実施が困難な場所など，平成 21 年度末（平成 22 年 3 月）までに完了できなくなった火山については，やむを得ず，次年度への繰り越しを財務局に承認して頂き整備を実施した．平成 22 年度の担当者一覧を表 11-3 に示す．なお，全整備工事が完了した後，本整備体制は解除した．

*柿下　毅（現：大阪管区気象台），本多誠一郎（現：地震火山部管理課）

表 11-1　平成 21 年度予算「火山対策の強化」プロジェクトチーム　（各チーフには当時の官職名を付した）

チーム	チーフ	メンバー	分担業務
統　括	横山博文 （火山課長）	加藤孝志（管），柿下 毅，佐久間喜代志，宮村淳一，森 博一，橋本 勲（管），本多誠一郎（予），鈴木一藏，荒谷 博	・各チーム作業の総合調整 ・地震火山部内，関係機関との調整
工程管理・調整	荒谷 博 （火山防災官）	飯野英樹	・全国工程作成・管理，管区・地台とのスケジュール調整 ・火山別帳票管理
地点選定 **（外部機関調整含む）**	宮村淳一 （火山機動観測班長）	宮下 誠，瀧沢倫明，山中雅之，道端秀和	・現地での地点選定 ・地点選定に係る大学，防災科研等との調整
観測施設・観測機器	佐久間喜代志 （火山監視・情報センター所長）	森 博一，藤原善明，西 政樹（管）	・火山観測施設全般の設備設計 ・ボーリング工事計画 ・地震計，空振計，遠望カメラ，GPS，傾斜計のスペック検討
通信施設	森 博一 （システム担当調査官）	中村政道，藤原善明，鈴木 厚（管），渡邊幸弘（監）	・通信機器のスペック検討 ・VOIS とのインターフェース等検討
データ回線 **（ネットワーク含む）**	橋本 勲 （管理課調査官）	松森敏幸（管），西 政樹（管），鈴木 厚（管），渡邊幸弘（監）	・回線検討
仕様書・申請書	本多誠一郎 （地震予知情報課調査官）	宮下 誠，齋藤公一滝，上山哲幸，藤原善明，佐久間喜代志	・整備計画概要作成 ・仕様書作成 ・申請書等作成
予算・経理	鈴木一藏 （予算担当調査官）	稲葉俊英，福留みのり，本多誠一郎（予），黒沼邦夫（管），島貫朋宏（管）	・見積もり ・実行計画の作成 ・出張計画，旅費概算

（管）：管理課　（予）：地震予知情報課　（監）：地震津波監視課

表 11-2　平成 21 年度 火山観測施設整備工事の担当者（主担当，責任者）

青字：年度前半のみ，赤字：年度後半のみ

<table>
<tr><td>全体管理</td><td colspan="2">柿下 毅，加藤孝志（管）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">火山総合観測装置（掘削・地中部・地上部）
全体管理(全国)：本多誠一郎(予)
掘削・地中部：本多誠一郎（予），佐久間喜代志，柿下 毅，齋藤公一滝，宮下 誠，小久保一哉
地上部：上山哲幸，佐久間喜代志，森 博一（AD）
無線局免許申請：瀧沢倫明，栢野一正（管），鈴木 厚（管）</td><td>札幌管内</td><td>佐藤十一，及川太美夫，福井史雄（AD）</td></tr>
<tr><td>仙台管内</td><td>関根一男，佐々木貴史，巻 和男，大山耕司 （※）</td></tr>
<tr><td>東京管内</td><td>佐久間喜代志，齋藤公一滝，本多誠一郎（予），宮下 誠，小久保一哉（AD），上山哲幸</td></tr>
<tr><td>福岡管内</td><td>山内 博，下村雅直，佐藤孝久，川村 安，稲葉博明，松末伸一（鹿）</td></tr>
<tr><td>コア解析グループ</td><td>齋藤 誠，小久保一哉，平松秀行，齋藤公一滝</td></tr>
<tr><td rowspan="4">待受工事
全国：佐久間喜代志，宮下 誠（下半期 AD），道端秀和</td><td>札幌管内</td><td>及川太美夫，平祐太郎，川口一徳，谷口貴康，谷口正実，高橋裕二，戸部幸治</td></tr>
<tr><td>仙台管内</td><td>小林 徹，佐々木貴史，大山耕司，巻 和男 （※）</td></tr>
<tr><td>東京管内</td><td>佐久間喜代志，宮下 誠（下半期 AD），道端秀和 （※）
鈴木孝雄（東京管区），小野沢和博（東京管区）</td></tr>
<tr><td>福岡管内</td><td>川村 安，佐藤孝久，山内 博，下村雅直，松末伸一（鹿）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">火山遠望観測装置
全国：森 博一，中村政道（AD）</td><td>札幌管内</td><td>及川太美夫，平祐太郎，川口一徳，谷口貴康，谷口正実，高橋裕二，戸部幸治</td></tr>
<tr><td>仙台管内</td><td>庄司哲也，小林 徹，大山耕司，巻 和男 （※）</td></tr>
<tr><td>東京管内</td><td>森 博一，中村政道（AD）</td></tr>
<tr><td>福岡管内</td><td>下村雅直，稲葉博明，川村 安，松末伸一（鹿）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">GPS 観測装置
全国：藤原善明，山中雅之，森 博一（AD）</td><td>札幌管内</td><td>及川太美夫，平祐太郎，川口一徳，谷口貴康，谷口正実，高橋裕二，戸部幸治</td></tr>
<tr><td>仙台管内</td><td>佐々木貴史，小林 徹，大山耕司，巻 和男 （※）</td></tr>
<tr><td>東京管内</td><td>藤原善明，山中雅之，森 博一（AD）</td></tr>
<tr><td>福岡管内</td><td>川村 安，佐藤孝久，稲葉博明，下村雅直，松末伸一（鹿）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">テレメータシステムの整備及び更新
全国：上山哲幸，上田義浩，本多誠一郎（予），鈴木 厚（管），松森敏幸（AD），森 博一（AD）
無線局免許申請：瀧沢倫明，栢野一正（管），鈴木 厚（管）</td><td>札幌管内</td><td>及川太美夫，平祐太郎，川口一徳，谷口貴康，谷口正実，高橋裕二，戸部幸治</td></tr>
<tr><td>仙台管内</td><td>庄司哲也，小林 徹，大山耕司，巻 和男 （※）</td></tr>
<tr><td>東京管内</td><td>上山哲幸，上田義浩，本多誠一郎（予），鈴木 厚（管），森 博一（AD）</td></tr>
<tr><td>福岡管内</td><td>川村 安，佐藤孝久，稲葉博明，下村雅直，松末伸一（鹿）</td></tr>
<tr><td>データ回線（地上回線）
回線開通工事調整（全国分）</td><td>本庁</td><td>齋藤公一滝，上山哲幸，本多誠一郎（予），渡邊幸弘（監）
鈴木 厚（管），森 博一，藤原善明</td></tr>
</table>

（※）各観測点の場所選定者が当該地台等の指導窓口

（AD）：アドバイザー（管）：管理課　（監）：地震津波監視課　（予）：地震予知情報課（鹿）：鹿児島地方気象台

表 11-3　平成 22 年度 火山観測施設整備工事の担当者（主担当，責任者）

青字：年度前半のみ，赤字：年度後半のみ

全体管理	柿下 毅，加藤孝志（管）	
火山総合観測装置（掘削・地中部・地上部） 全体管理（全国）：晴山 智 掘削・地中部：晴山 智，齋藤公一滝，内田 東，佐久間喜代志（AD），小久保一哉（AD），本多誠一郎（予: AD） 地上部：森 博一 無線局免許申請：谷口 正実	札幌管内	及川太美夫，平祐太郎，谷口貴康，戸部幸治，高橋裕二
	仙台管内	関根一男，巻 和男，佐々木貴史，武田清史
	東京管内	晴山 智，齋藤公一滝，内田 東，佐久間喜代志（AD），小久保一哉（AD），森 博一（AD）
	福岡管内	山内 博，下村雅直，佐藤孝久，川村 安，稲葉博明，松末伸一（鹿）
	コア解析グループ	齋藤 誠，小久保一哉，坂井孝行，藤原善明，棚田理絵，齋藤公一滝
待受工事 全国：佐久間喜代志（AD）	札幌管内	（前年度で完了）
	仙台管内	佐々木貴史，巻 和男
	東京管内	佐久間喜代志，近澤 心，齋藤公一滝 小野沢和博（東京管区），福井雄仁（東京管区）
	福岡管内	川村 安，佐藤孝久，山内 博，下村雅直，松末伸一（鹿）
GPS 観測装置 全国：近澤 心，森 博一（AD），藤原善明（AD）	札幌管内	及川太美夫，平祐太郎，谷口貴康，戸部幸治，高橋裕二
	仙台管内	佐々木貴史，巻 和男
	東京管内	近澤 心，森 博一（AD），藤原善明（AD）
	福岡管内	川村 安，佐藤孝久，稲葉博明，下村雅直，松末伸一（鹿）
テレメータシステムの整備及び更新 全国：晴山 智，内田 東，森 博一（AD），松森敏幸（AD） 無線局免許申請：谷口 正実	札幌管内	及川太美夫，小野芳博，平祐太郎，谷口貴康，戸部幸治，高橋裕二
	仙台管内	武田清史，福田武夫
	東京管内	晴山 智，内田 東，松森敏幸（AD），森 博一（AD）
	福岡管内	川村 安，佐藤孝久，稲葉博明，下村雅直，松末伸一（鹿）
硫黄島対応 取付調整，防衛省等との交渉 （機器購入は 21 年度）	本庁	上田義浩，齋藤公一滝，山中雅之（AD），佐久間喜代志（AD）
データ回線（地上回線） **回線開通工事調整（全国分）**	本庁	齋藤公一滝，鈴木 厚（管），渡邊幸弘（管），藤原善明

（AD）：アドバイザー（管）：管理課　（監）：地震津波監視課　（予）：地震予知情報課　（鹿）：鹿児島地方気象台

謝辞

今回の火山観測施設整備にあたり，次の方々には観測点地点選定でお世話になりました：大島弘光北海道大学大学院理学研究院准教授，植木貞人東北大学大学院理学研究科准教授（現：東北大学大学院理学研究科），小菅正裕弘前大学理工学部准教授，森田裕一東京大学地震研究所教授，武尾　実東京大学地震研究所教授，渡辺秀文東京大学名誉教授，藤井敏嗣東京大学名誉教授，野上健治東京工業大学火山流体研究センター教授，木股文昭名古屋大学大学院環境学研究科教授（現：東濃地震科学研究所），大見士朗京都大学防災研究所准教授，清水　洋九州大学大学院理学研究院教授，大倉敬宏京都大学大学院理学研究科准教授（現：教授），井口正人京都大学防災研究所教授，鵜川元雄防災科学技術研究所火山防災研究部長（現：日本大学文理学部教授），棚田俊收神奈川県温泉地学研究所主任研究員（現：防災科学技術研究所地震・火山観測データセンター火山観測管理室長），今給黎哲郎国土地理院地理地殻活動研究センター地理地殻活動総括研究官（現：測地観測センター長）．また，大島弘光北海道大学大学院理学研究院准教授には，掘削全般について技術的指導を頂きました．以上の方々に厚く御礼申し上げます．

硫黄島の観測施設整備にあたっては，防衛省はじめ「2.5.1 整備に係る諸手続き」に記載した関係各機関に大変お世話になりました．厚く御礼申し上げます．

気象庁本庁及び各気象官署の予算担当官をはじめとする職員各位の多大なるご協力がなければ今回の施設整備工事を完遂することはできませんでした．関係職員各位のご協力に改めて感謝申し上げます．

査読者の関根一男秋田地方気象台次長（平成 25 年 3 月退職）には退職後も査読を続けて頂き，本稿を大きく改善することができました．また，地震火山部火山課の舟崎　淳火山対策官，荒谷　博課長補佐（現：管理課地震津波防災対策室長），地震津波監視課の原田智史課長補佐（現：火山課課長補佐）と，験震時報編集委員会の内藤宏人編集長，坂井孝行氏，長岡　優氏からは，原稿に対する貴重なコメントを頂きました．

著者一同，以上の方々に深く感謝いたします．

（編集担当　坂井孝行・長岡　優）